

Original document

Magnetic resistance element

Patent number: CN1340867
Publication date: 2002-03-20
Inventor: MASASHO HIRAMOTO [JP]; NOZOMU
MATSUKAWA [JP]; AKIHIRO OTAGAWA [JP]
Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]
Classification:
- international: H01L43/08; H01L43/10; H01F10/14; C01G49/00;
G11B5/31; G11C11/15
- european:
Application number: CN20010137079 20010821
Priority number(s): JP20000249340 20000821; JP20000330254 20001030

Also published as:

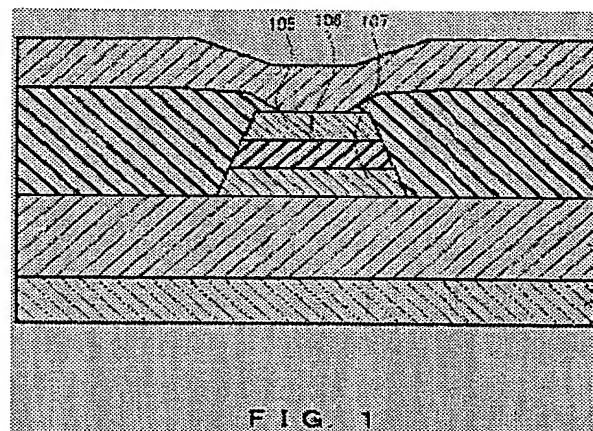
EP1182713 (A)
US6767655 (B)
US2002055016
EP1182713 (A)

View INPADOC patent family

Abstract not available for CN1340867

Abstract of corresponding document: **EP1182713**

The present invention provides a vertical current-type magnetoresistive element. The element includes an intermediate layer (106) and a pair of magnetic layers (105, 107) sandwiching the intermediate layer, and at least one of a free magnetic layer (105) and a pinned magnetic layer (107) is a multilayer film including at least one non-magnetic layer and magnetic layers sandwiching the non-magnetic layer. The element area defined by the area of the intermediate layer through which current flows perpendicular to the film is not larger than $1000 \mu\text{m}^2$.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01137079.3

H01L 43/08
H01L 43/10 H01F 10/14
C01G 49/00 G11B 5/31
G11C 11/15

[43] 公开日 2002 年 3 月 20 日

[11] 公开号 CN 1340867A

[22] 申请日 2001.8.21 [21] 申请号 01137079.3

[30] 优先权

[32] 2000.8.21 [33] JP [31] 249340/2000

[32] 2000.10.30 [33] JP [31] 330254/2000

[71] 申请人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 平本雅祥 松川望 小田川明弘

饭岛贤二 榊间博

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

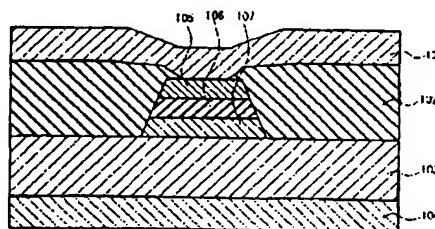
代理人 王 岳 叶恺东

权利要求书 8 页 说明书 68 页 附图页数 15 页

[54] 发明名称 磁阻元件

[57] 摘要

本发明提供包括中间层和夹持该中间层的一对磁性层,磁性层中的自由磁性层或者固定磁性层是至少由 1 层非磁性体层,夹持上述非磁性体层的磁性体层构成的多层膜,而且作为垂直于膜面流过的电流通过的上述中间层的面积所规定的元件面积是 $1000\mu\text{m}^2$ 以下的磁阻元件。



ISSN 1000-4274

知识产权出版社出版

权利要求书

1. 一种磁阻元件, 特征在于:

包括中间层, 把夹持上述中间层在的一对磁性层, 上述磁性层的
一方是比另一方的磁性层对于外部磁场更易于磁化旋转的自由磁性
5 层, 上述自由磁性层是至少由一层非磁性体层和夹持上述非磁性体层
夹的磁性体层构成的多层膜, 而且作为垂直于膜面流动的电流通过的
上述中间层的面积所规定的元件面积是 $1000 \mu\text{m}^2$ 以下。

2. 如权利要求 1 中所述的磁阻元件, 特征在于:

自由磁性层的面积比元件面积宽大。

10 3. 如权利要求 1 中所述的磁阻元件, 特征在于:

在自由磁性层中, 把从中间层一侧配置为第 m 个 (m 是 1 以上的
整数) 的磁性体层记为磁性体层 m , 把上述磁性体层的平均饱和磁化
表示为 M_m , 平均膜厚表示为 d_m 时, m 是奇数的层的 $M_m \times d_m$ 总和实质
上与 m 是偶数的层的 $M_m \times d_m$ 总和相等。

15 4. 如权利要求 3 中所述的磁阻元件, 特征在于:

非磁性层的厚度在 $2.6\text{nm} \leq d < 10\text{nm}$ 的范围内。

5. 如权利要求 1 中所述的磁阻元件, 特征在于:

在自由磁性层中, 把从中间层一侧配置为第 m 个 (m 是 1 以上的
整数) 的磁性体层记为磁性体层 m , 把上述磁性体层的平均饱和磁化
20 表示为 M_m , 平均膜厚表示为 d_m 时, m 是奇数的层的 $M_m \times d_m$ 总和实质
上与 m 是偶数的层的 $M_m \times d_m$ 总和不相等。

6. 如权利要求 5 中所述的磁阻元件, 特征在于:

非磁性层的厚度在 $2.6\text{nm} \leq d < 10\text{nm}$ 的范围内。

7. 如权利要求 5 中所述的磁阻元件, 特征在于:

25 非磁性层的厚度在 $0.3 < d < 2.6\text{nm}$ 的范围内。

8. 如权利要求 5 中所述的磁阻元件, 特征在于:

自由磁性层包括从中间层一侧顺序叠层的第 1 磁性体层, 非磁性
体层, 第 2 磁性体层, 当把上述第 1 磁性体层的平均膜厚表示为 d_1 ,
平均饱和磁化表示为 M_1 , 把上述第 2 磁性体层的平均膜厚表示为 d_2 ,
30 平均饱和磁化表示为 M_2 时,

$$1. \quad 1 < (M_1 \times d_1 + M_2 \times d_2) / S < 20$$

成立 (其中, S 是 $M_1 \times d_1 - M_2 \times d_2$ 的绝对值), 而且,

当① $M1 \times d1 - M2 \times d2 > 0$ 时,把上述第 1 磁性体层的实效膜厚 $d11$ 取为 $d11 = (M1 \times d1 - M2 \times d2) / M1$,

当② $(M1 \times d1 - M2 \times d2) < 0$ 时,把上述第 2 磁性体层的实效膜厚 $d22$ 取为 $d22 = (M2 \times d2 - M1 \times d1) / M2$

- 5 如果把从上述实效膜厚 $d11$ 或者 $d22$ 与上述自由磁性层的面形状求出的,在外部磁场的加入方向中的上述自由磁性层的面内的反磁场系数记为 Nm , 则是 $Nm < 0$. 02.

9. 如权利要求 5 中所述的磁阻元件, 特征在于:

- 自由磁性层包括从中间层一侧顺序叠层的第 1 磁性体层, 非磁性
10 体层, 第 2 磁性体层, 当把上述第 1 磁性体层的平均膜厚表示为 $d1$, 平均饱和磁化表示为 $M1$, 把上述第 2 磁性体层的平均膜厚表示为 $d2$, 平均饱和磁化表示为 $M2$ 时,

$M2 \times d2 > M1 \times d1$ 成立,

- 而且, 上述第 2 磁性体层由软磁性材料或者硬磁性材料构成, 上
15 述第 1 磁性体层至少在与中间层的界面上由高自旋极化率材料构成.

10. 如权利要求 5 中所述的磁阻元件, 特征在于:

- 自由磁性层包括从中间层一侧顺序叠层的第 1 磁性体层, 非磁性
体层, 第 2 磁性体层, 当把上述第 1 磁性体层的平均膜厚表示为 $d1$, 平均饱和磁化表示为 $M1$, 把上述第 2 磁性体层的平均膜厚表示为 $d2$,
20 平均饱和磁化表示为 $M2$ 时,

$M2 \times d2 > M1 \times d1$ 成立

而且, 对于外部磁化的变化, 磁阻值至少示出一个极大值或者极小值.

11. 如权利要求 5 中所述的磁阻元件, 特征在于:

- 自由磁性层包括从中间层一侧顺序叠层的第 1 磁性体层, 第 1 非
25 磁性体层, 第 2 磁性体层, 第 2 非磁性体层, 第 3 磁性体层, 当把上述磁性体层 n 的平均膜厚表示为 dn , 平均饱和磁化表示为 Mn (n 是 1, 2 或者 3) 时,

$M3 \times d3 > M1 \times d1$ 以及 $M3 \times d3 > M2 \times d2$ 成立

- 30 而且, 上述第 1 磁性体层与上述第 2 磁性体层的耦合磁场的大小比上述第 3 磁性体层的存储反转磁场小, 通过沿着上述第 3 磁性体层的磁化的存储方向加入上述存储反转磁场以下而且上述耦合磁场以

上的磁场，检测上述第 3 磁性体层的磁化状态。

12. 如权利要求 5 中所述的磁阻元件，特征在于：

由多层膜组成的自由磁性层包括由 2 层中间层夹持的结构。

13. 如权利要求 12 中所述的磁阻元件，特征在于：

5 由多层膜构成的自由磁性层具有 $2n$ 层 (n 是 1 以上的整数) 磁性体层与 $(2n-1)$ 层非磁性体层交互叠层的结构。

14. 如权利要求 13 中所述的磁阻元件，特征在于：

包括按照第 1 固定磁性层，第 1 中间层，自由磁性层，第 2 中间层，第 2 固定磁性层的顺序叠层了的结构，上述自由磁性层是从上述
10 第 1 固定磁性层一侧开始，按照第 1 磁性体层，非磁性体层，第 2 磁性体层的顺序叠层了的多层膜，如果把上述磁性体层 n (n 是 1 或者 2) 的平均膜厚记为 d_n ，平均饱和磁化记为 M_n ，则 $M_2 \times d_2 \neq M_1 \times d_1$ 。

15. 如权利要求 12 中所述的磁阻元件，特征在于：

由多层膜构成的自由磁性层具有交互叠层了 $(2n+1)$ 层 (n 是 1
15 以上的整数) 的磁性体层和 $2n$ 层的非磁性体层的结构。

16. 如权利要求 15 中所述的磁阻元件，特征在于：

包括按照第 1 固定磁性层，第 1 中间层，自由磁性层，第 2 中间层，第 2 固定磁性层的顺序叠层了的结构，上述自由磁性层是从上述
20 第 1 固定磁性层一侧开始，按照第 1 磁性体层，第 1 非磁性体层，第 2 磁性体层，第 2 非磁性体层，第 3 磁性体层的顺序叠层了的多层膜，如果把上述磁性体层 n (n 是 1, 2 或者 3) 的平均膜厚记为 d_n ，把平均饱和磁化记为 M_n ，则是 $M_3 \times d_3 + M_1 \times d_1 \neq M_2 \times d_2$ 。

17. 如权利要求 1 中所述的磁阻元件，特征在于：

没有包含在自由磁性层中的磁性体层的至少 1 层具有与其余的磁
25 性体层的至少 1 个不同大小的矫顽磁力或者饱和磁化。

18. 一种磁阻元件，特征在于：

包含有权利要求 5 中所述的磁阻元件 A 和磁阻元件 B，

其中，磁阻元件 A 的自由磁性层包括从中间层一侧开始顺序叠层的第 1 磁性体层、非磁性体层、第 2 磁性体层，并且在把上述第 1 磁
30 性体层的平均膜厚表示为 d_1 ，平均饱和磁化表示为 M_1 ，把上述第 2 磁性体层的平均膜厚表示为 d_2 ，平均饱和磁化表示为 M_2 时，具有如下的关系

$$M2 \times d2 > M1 \times d1,$$

磁阻元件 B 的自由磁性层包括从中间一侧开始的第 3 磁性体层和第 4 磁性体层, 在把上述第 3 磁性体层的平均膜厚表示为 $d3$, 平均饱和磁化表示为 $M3$, 把上述第 4 磁性体层的平均膜厚表示为 $d4$, 平均饱和磁化表示为 $M4$ 时, 具有如下的关系

$$M3 \times d3 > M4 \times d4,$$

上述磁阻元件 A 以及上述磁阻元件 B 对应于相同的外部磁场进行响应, 而且把上述磁阻元件 A 以及上述磁阻元件 B 的相互的输出进行加法或者减法运算。

10 19. 一种磁阻元件, 特征在于:

包括中间层和夹持上述中间层夹的一对磁性层, 上述磁性层的一方是比另一方的磁性层对于外部磁场难以磁化旋转的固定磁性层, 上述固定磁性层是至少由一层非磁性体层和夹持上述非磁性体层的磁性体层构成的多层膜, 上述非磁性体层的厚度 d 处于 $0.3\text{nm} < d < 2.6\text{nm}$ 的范围内, 上述固定磁性层与基底层或者反强磁性体层相连接, 而且作为垂直于膜面流过的电流通过的上述中间层的面积所规定的元件面积是 $1000\mu\text{m}^2$ 以下。

20. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

20 把在固定磁性层中, 从中间层一侧开始配置为第 m (m 是 1 以上的整数) 个的磁性体层表示为磁性体层 m , 把上述磁性体层的平均饱和磁化表示为 Mm , 平均膜厚表示为 dm 时, m 为奇数的 $Mm \times dm$ 的总和实质上与 m 为偶数的 $Mm \times dm$ 的总和相等。

21. 一种磁阻元件, 特征在于:

包含磁阻元件 A 和磁阻元件 B,
25 其中磁阻元件 A 具有从中间层一侧开始, 交互地叠层了 $2n$ 层 (n 是 1 以上的整数) 的磁性体层和 $(2n-1)$ 层的非磁性体层的固定磁性层,

磁阻元件 B 具有从中间层一侧开始, 交互地叠层了 $(2n+1)$ 层的磁性体层和 $2n$ 层的非磁性体层的固定磁性层,

30 上述元件 A 以及上述元件 B 的至少一方是权利要求 19 中所述的磁阻元件,

上述元件 A 以及上述元件 B 对于相同的外部磁场进行响应, 而且

把上述元件 A 以及上述元件 B 的相互的输出进行加法或者减法运算。

22. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

非磁性体层是包含从氧化物, 氮化物, 碳化物以及硼化物中选择出的至少一种导电体。

5 23. 如权利要求 22 中所述的磁阻元件, 特征在于:

非磁性体层是至少从氧化物, 氮化物, 碳化钨以及硼化物中选择出的至少 1 层非磁性体层与至少 1 层非磁性金属的多层膜。

24. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

10 具有基底层, 上述基底层由 IVa ~ VIa 族以及 VIII 族(但是, 除去 Fe, Co 以及 Ni) 以及从 Cu 中选择出的至少一种元素构成。

25. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

具有与磁性体层连接的基底层, 上述基底层与上述磁性体层都包括从 fcc 以及 hcp 选择出的至少一种晶体构造, 或者上述基底层和上述磁性体层都包括 bcc 构造。

15 26. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

具有反强磁性体层, 上述反强磁性体层包括从 Mn, Tc, Ru, Rh, Re, Os, Ir, Pd, Pt, Ag, Au 以及 Al 选择出的至少一种和 Cr。

27. 如权利要求 26 中所述的磁阻元件, 特征在于:

20 反强磁性体层具有由公式 $Cr_{100-x}Me_x$ (Me 是从 Re, Ru 以及 Rh 中选择出的至少一种, $0.1 \leq x \leq 20$) 表示的成分。

28. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

具有反强磁性体层, 上述反强磁性体层具有由公式 $Mn_{100-x}Me_x$ (Me 是从 Pd 以及 Pt 中选择出的至少一种, $40 \leq x \leq 55$) 表示的成分。

29. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

25 包括反强磁性体层以及基底层, 在上述基底层上形成上述反强磁性体层, 上述基底层和上述反强磁性体层都包括从 fcc, fct, hcp 以及 hct 中选择出的至少一种晶体构造, 或者上述基底层和上述反强磁性体层都包括 bcc 构造。

30. 如权利要求 29 中所述的磁阻元件, 特征在于:

30 基底层由 NiFe 或者 NiFeCr 构成, 经过至少 300℃ 以上的热处理形成。

31. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

具有与磁性体层连接的反强磁性体层，上述磁性体层是 Co。

32. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件，特征在于：

与从反强磁性体层以及非磁性体层选择出的至少一方连接的磁性体层的至少一个是包含有从氧、氮以及碳选择出的至少一种的强磁性体层。

33. 如权利要求 19 中所述磁阻元件，特征在于：

与从反强磁性体层以及非磁性体层选择出的至少一方连接磁性体层的至少一个是非晶型强磁性体。

34. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件，特征在于：

具有反强磁性体层，如果把固定磁性层的厚度记为 df ，把上述反强磁性体层的厚度记为 da ，则以下关系成立

$$2\text{nm} \leq df \leq 50\text{nm}$$

$$5\text{nm} \leq da \leq 100\text{nm}$$

$$0.1 \leq df/da \leq 5.$$

35. 如权利要求 1 或 19 中所述的磁阻元件，特征在于：

磁阻元件形成在由多层膜构成的下部电极层上。

36. 如权利要求 35 中所述的磁阻元件，特征在于：

多层膜具有把从 Ag, Au, Al 以及 Cu 选择出的至少一种为主成分的高导电性金属层，从 IVa ~ VIa 族以及 VIII 族选择出的至少一种元素为主要成分的金属，或者从导电性氧化物，导电性氮化物以及导电性碳化物中选择出的化合物构成的晶粒生长抑制层的多层构造。

37. 如权利要求 19 中所述的磁阻元件，特征在于：

中间层是包含从氧、氮、碳以及硼中选择出的至少一种绝缘体或者半导体。

38. 如权利要求 1 或 19 中记述磁阻元件，特征在于：

中间层由从迁移金属选择出的至少一种元素构成的金属，或者迁移金属与从氧、氮以及碳中选择出的一种导电性化合物构成，元件面积是 $0.01 \mu\text{m}^2$ 以下。

39. 如权利要求 38 中所述的磁阻元件，特征在于：

夹持中间层的磁性层的至少一方包括含有氧、氮或者碳的强磁性体或者非晶型强磁性体。

40. 如权利要求 1 或 19 中所述的磁阻元件，特征在于：

把对于外部磁场易于磁化旋转的自由磁性层作为磁存储层。

41. 如权利要求 1 或 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

进而还具有磁通导向体。

42. 如权利要求 41 中所述的磁阻元件, 特征在于:

5 把自由磁性层的至少一部分作为磁通导向体。

43. 如权利要求 1 或 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

如果把自由磁性层的元件形状的最长宽度记为 a , 最短宽度记为 b , 则 $1.5 < a/b < 10$ 成立。

44. 一种磁阻元件的制造方法, 该方法是权利要求 1 或 19 中所
10 述的磁阻元件的制造方法, 特征在于:

在 $300^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 的热处理以后, 在 $200^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 下实施磁场中热处理。

45. 一种磁阻元件的制造方法, 该方法是权利要求 1 或 19 中所
述的磁阻元件的制造方法, 特征在于:

15 实施 $300^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 的磁场中热处理。

46. 一种磁阻元件的制造方法, 该方法是权利要求 1 或 19 中所
述的磁阻元件的制造方法, 特征在于:

在基板上形成包含反强磁性体层、固定磁性层、中间层以及自由
磁性层的多层膜, 通过在 $200^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ 下进行磁场中热处理提供单轴
20 各向异性, 在 $300^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 的还原氛围中进行热处理。

47. 一种信息通信终端, 特征在于:

搭载了权利要求 1 或 19 中所述的磁阻元件, 而且把基于电磁波
的通信信息保存在磁阻元件的自由磁性层中。

48. 如权利要求 12 中所述的磁阻元件, 特征在于:

25 包括按照第 1 固定磁性层、第 1 中间层、第 1 自由磁性层、非磁
性导电层、第 2 自由磁性层、第 2 中间层, 第 2 固定磁性层的顺序叠
层的结构, 上述第 1 自由磁性层以及上述第 2 自由磁性层的至少一方
具有交互叠层了磁性体层与非磁性体层的结构。

49. 如权利要求 48 中所述的磁阻元件, 特征在于:

30 与非磁性导电层连接的磁性体层的磁化方向相互反平行。

50. 如权利要求 48 中所述的磁阻元件, 特征在于:

非磁性导电层的厚度是 $2.6\text{nm} \sim 50\text{nm}$ 。

51. 如权利要求 12 中所述的磁阻元件, 特征在于:

包括 4 层固定磁性层, 2 层自由磁性层和 4 层中间层, 上述自由磁性层的至少一方具有交互叠层了磁性体层与非磁性体层的结构。

52. 如权利要求 1 或 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

5 包括按照固定磁性层、中间层以及自由磁性层的顺序叠层了的多层结构, 上述自由磁性层与缓冲层连接, 上述缓冲层是在与上述缓冲层连接的磁性体成分中添加了 10wt% - 50wt% 的非磁性元素的成分, 而且上述成分的饱和磁化是 0. 2T 以下。

53. 如权利要求 52 中所述的磁阻元件, 特征在于:

10 在缓冲层中包括从 Cr, Mo 以及 W 中选择的至少一种。

54. 如权利要求 1 或 19 中所述的磁阻元件, 特征在于:

自由磁性层包括至少 1 层非磁性体层和夹持上述非磁性体层的磁性体层, 上述磁性体层的膜厚总计是 4nm 以上。

55. 如权利要求 1 中所述的磁阻元件, 特征在于:

15 非磁性体层是包括从氧化物、氮化物、碳化物以及硼化物中选择的至少一种导电体。

56. 如权利要求 55 中所述的磁阻元件, 特征在于:

非磁性体层是至少从氧化物、氮化物、碳化物以及硼化物中选择的至少 1 层磁性体与至少 1 层非磁性金属的多层膜。

说明书

磁阻元件

本发明所属技术领域

5 本发明涉及在信息通信终端等中使用的磁随机存取存储器 (MRAM) 等中广泛应用的磁阻元件及制造方法。

已有技术

在以强磁性体/中间层/强磁性体为基本结构的多层膜中横穿过中间层流过电流时, 已知在中间层是隧道绝缘层时产生自旋隧道效应, 或者在中间层是 Cu 等导电性金属时产生基于 CPP (电流垂直平面) - GMR 效应的磁阻效应。在任一种磁阻效应中, 都依赖于夹持中间层的磁性体之间的磁化相对角的大小, 前者通过在 2 个磁性体之间流动的隧道电子的迁移概率根据相对角发生变化, 后者通过自旋依存散射方式变化产生磁阻效应。

15 在把这样的 TMR 元件使用在磁头或者 MRAM 时, 通过把夹持中间层的 2 层磁性体的一方与称为 FeMn 或 IrMn 的反强磁性材料叠层, 作为对于外部磁场难以磁化旋转的固定磁性层, 把剩余的一方作为对于外部磁场容易磁化旋转自由磁性层 (电子管型元件)。

把这些垂直电流型磁阻元件例如用于磁头或者存储元件时, 从高记录密度, 高安装密度的要求出发, 例如作为磁带媒体的再生元件, 需要把电流流过的中间层的面积 (元件面起) 做成数 $1000 \mu\text{m}^2$ 以下。特别是在 HDD, MRAM 等中要求数 μm^2 以下的元件面积。在元件面积比较大时, 易于在自由磁性层内形成磁畴。因此, 作为再生元件由磁畴壁移动引起的巴克好森噪声, 以及作为 MRAM 存储器的动作转换磁化的不稳定性均成为问题。另一方面, 在对于元件面积不可以忽视自由磁性层的膜厚的区域中, 由于加大由形状各向异性产生的反转磁场, 因此特别是在用作为再生磁头时, 伴随抗磁力的增大而产生的再生灵敏度下降是一个问题。另外, 在用作为 MRAM 存储器的情况下, 反转磁场的增大是一个问题。

30 为了抑制反磁场, 可以减薄自由磁性层的膜厚。但是在亚微细粒以下, 用于反磁场抑制所需要的磁性层的膜厚成为 1nm 以下, 降低到了磁性体的物理膜厚界限以下。

在把 TMR 元件作为 MRAM 时, 在半导体工艺的氢烧结或者钝化制
做工艺中, 进行 400℃ 左右的热处理。但是已经报告了在配置成把以
往的 IrMn 或者 FeMn 与磁性层连接的固定层中, 在 300℃ 左右以上,
由于 Mn 的扩散, 磁性层的自旋极化率降低, 以及由于反强磁性体的
成分偏移引起的磁场降低, MR 降低(S. Cardoso 等人 J. Appl. Phys.
87, 6058 (2000))。

在以往所考虑的非易失性 MRAM 元件的读出方法中, 为了读出对
于与开关元件以及电极串联连接的磁阻元件的全部磁阻的磁阻元件
的磁阻变化, 如果元件电阻或者开关元件、电极电阻的分散性大则读
出困难。为了提高 S/N, 还考虑出以与基准元件的动作电压读出的方
法, 但是在这种情况下, 由于需要基准元件, 因此元件的高集成化是
一个问题(日本应用磁学会 第 112 次研究会资料 37 页)。

本发明所要解决的课题

本发明的一个方案包括中间层和夹持上述中间层的一对磁性
层, 上述磁性层的一方是比另一方的磁性层对于外部磁场易于磁化旋
转的自由磁性层, 上述自由磁性层具有由至少 1 层非磁性体层和夹持
上述非磁性体层的磁性体层构成的多层膜, 而且与上述多层膜的膜面
垂直地流过的电流通过的元件面积是 $1000\mu\text{m}^2$ 以下, 最好是 $10\mu\text{m}^2$
以下, 更理想的是 $1\mu\text{m}^2$ 以下, 最理想的是 $0.1\mu\text{m}^2$ 以下。这里, 元
件面积规定为与膜面垂直流过的电流通过的中间层的面积。

通过把自由磁性层取为磁性体层与非磁性体层的多层构造, 能够
抑制伴随着元件面积的减小而增大的反磁场。这里, 磁性体层、非磁
性体层既可以是单层也可以是多层。自由磁性层对于具有使另一方的
磁性层(通常是固定磁性层)磁化旋转的大小的外部磁场, 最好以 500e
(大约 4kA/m) 以上的小值磁化旋转。特别是, 在把元件用作为存储
器时, 能够以 10 - 5000e 以下的值进行磁化旋转。

另外磁性层是至少在与中间层的界面 0.5nm 附近, 包含 50wt%
以上的 ① CoNbZr, CoTaZr, CoFeB, CoTi, CoZr, CoNb, CoMoBZr,
CoVZr, CoMoSiZr, CoMoZr, CoMoVZr, 或者 CoMnB 等 Co 系列非晶型
材料, ② FeSiNb, Fe(Si, Al, Ta, Nb, Ti)N 等的 Fe 系列微晶体
材料, ③ 从 Fe, Co, Ni 中选择出的金属强磁性元素的磁性体, 例如
FeCo 合金, NiFe 合金, NiFeCo 合金, FeCr, FeSiAl, FeSi, FeAl,

FeCoSi, FeCoAl, FeCoSiAl, FeCoTi, Fe(Ni)(Co)Pt, Fe(Ni)(Co)Pd, Fe(Ni)(Co)Rh, Fe(Ni)(Co)Ir, Fe(Ni)(Co)Ru 等强磁性或者稀薄磁性合金, 最好是还包含 50wt% 以上的④FeN, FeTiN, FeAlN, FeSiN, FeTaN, FeCoN, FeCoTiN, FeCoAlN, FeCoSiN, FeCoTaN 等氮化物, ⑤Fe₃O₄, ⑥XMnSb(X 是从 Ni, Cu, Pt 中选出的至少一种), LaSrMnO, LaCaSrMnO, CrO₂ 等半金属, ⑦MFeO₃ 型氧化物, MnZn 铁素体, NiZn 铁素体等尖晶石型氧化物, ⑧石榴石型氧化物等的强磁性体或者铁磁性体. 在本说明书中括号内的元素或者层是任意的元素(层).

自由磁性层的面积最好比元件面积宽大. 在自由磁性层的面积与元件面积几乎相等的情况下, 由于在自由磁性层的边缘部分发生的磁畴构造的紊乱影响 MR 降低. 对于元件面积, 如果加大自由磁性层的面积, 而且制做成使得自由磁性层充分覆盖元件面, 则由于自由磁性层的边缘部分从元件面积脱离, 因此能够保持提供磁阻的自由磁性层内的磁化方向的均匀性.

最好包括厚度 d 是 $2.6\text{nm} \leq d < 10\text{nm}$ 范围的非磁性体. 这是由于能够容易地进行自磁化旋转. 这考虑为由于通过在位于非磁性体层两侧的磁性体层中间, 根据形状各向异性发生的磁极之间相互静磁耦合, 从而使反磁场能量减少. 通过把自由磁性层采用上述构造, 能够得到磁畴单纯的高 MR. 如果 d 成为 10nm 以上则磁性体层之间的静磁耦合减弱, 抗磁力增大. 如果 d 小于 2.6nm 则交换耦合成为支配性的. 这种情况下, 作为磁性体层的厚度最好是能够进行适度静磁耦合的 1nm 以上 100nm 以下. 作为非磁性体层, 以 Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Al, SiO₂, SiC, Si₃N₄, Al₂O₃, AlN, Cr₂O₃, Cr₂N, TiO, TiN, TiC, HfO₂, HfN, HfC, Ta₂O₅, TaN, TaC, BN, B₄C 为代表, 只要是非磁性, 则金属, 氧化物, 氮化物, 碳化物等任一种均可, 更理想的, 可以是在 $200^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ 的热处理中难以与磁性体层引起相互扩散的材料.

构成自由磁性层的磁性体层静磁耦合时, 如果把从中间层一侧配置在第 m ($m = 1, 2, \dots$) 个的磁性体层记为磁性体层 m , 把上述磁性体层 m 的平均饱和磁化 M_m 和平均膜厚 d_m 的积记为 $M_m \times d_m$, 则 m 是奇数的 $M_m \times d_m$ 的总和实质上与 m 是偶数的 $M_m \times d_m$ 的总和相等. 这是因为通过阻断来自磁性体层的漏磁场, 使磁畴单纯, 提高对于外部磁场

的磁响应性，可以得到具有高 MR 的磁阻元件。这里，所谓实质上相等允许有 $\pm 10\%$ 的误差。

另外，作为本说明书中的饱和磁化，意指构成自由磁性层的各个磁性体层在加入了具有元件使用条件下大小的外部磁场时能够实效地取得的磁化的值。即，与由材料成分所决定的饱和磁化不同。特别是在 1 层的厚度为数 nm 左右的磁性体层中，这是由于根据基底的种类，或者根据其磁性体层的生长过程变化的实质膜密度、膜构造或者膜厚能够取得的磁畴形态等不同。

在构成自由磁性层的磁性体层静磁耦合时， m 是奇数的 $M_m \times d_m$ 的总和与 m 是偶数的 $M_m \times d_m$ 的总和也可以不同。如果实质上相同，则主要通过静磁耦合，闭合构成自由磁性层的磁性体层之间的漏磁通。从而，即使实施加工使得在自由磁性层上具有形状各向异性，也难以实现在单层的磁性膜中通常可以见到的磁化的 2 稳定状态。因此例如难以在把自由磁性层作为存储器的器件中应用。但是，通过使 m 是奇数的 $M_m \times d_m$ 的总和与 m 是偶数的 $M_m \times d_m$ 的总和不同（即，实质上不同），能够实现磁化反转容易，易于保持磁化的 2 稳定状态的磁阻元件。

在上述元件中最好包括厚度 d 为 $0.3\text{nm} < d < 2.6\text{nm}$ 范围的非磁性体。通过非磁性体层的厚度位于这样的范围，能够容易地进行自由层的磁化旋转。这是考虑为与非磁性体层邻接的磁性体层之间通过进行反强磁性耦合，使得反磁场能量减少的缘故。通过把自由磁性层采用上述构造，能够得到磁畴单纯的高 MR。如果 d 低于 0.3nm 则热稳定性恶化。另外如果 d 在 2.6nm 以上则静磁耦合成为支配性的。另外，在伴随 260°C 以上的热处理的情况下， d 最好是 $0.8\text{nm} - 2.6\text{nm}$ 。这种情况下，作为磁性体层的厚度，最好是能够进行适度反强磁性耦合的 $0.5\text{nm} - 100\text{nm}$ 左右。

作为非磁性体，可以是具有导电性的金属或者金属化合物，而理想的是 Cu, Ag, Au, Ru, Rh, Ir, Re, Os。另外，也可以是这些金属的合金，或者以 50wt% 以上包含有这些金属元素的合金或者化合物。这样的合金或者化合物的热稳定性出色，特别是用作为 CPP-GMR 时，将提高元件磁阻。

构成自由磁性层的磁性体层反强磁性耦合时，如果把从中间层一

侧配置在第 m ($m = 1, 2, \dots$) 个的磁性体层记为磁性体层 m , 把上述磁性体层 m 的平均饱和磁化 M_m 和平均膜厚 d_m 的积记为 $M_m \times d_m$, 则 m 是奇数的 $M_m \times d_m$ 的总和最好与 m 是偶数的 $M_m \times d_m$ 的总和不同. 在奇数号的层与偶数号的层相同时, 由于磁性体层之间进行反强磁性耦合, 因此如果外部磁场弱则难以进行磁化旋转. 通过设置不增大反磁场程度的差 (例如 $0.5 \sim 2 \text{Tnm}$) 对于外部磁场能够进一步磁化旋转, 能够实现具有低反转磁场和高 MR 的磁阻元件.

上述元件的自由磁性层包括从中间层一侧开始顺序叠层了的第 1 磁性体层, 第 2 非磁性体层, 第 2 磁性体层, 如果把上述第 1 磁性体层的平均膜厚记为 d_{11} , 平均饱和磁化记为 M_1 , 在上述第 2 磁性体层的平均膜厚记为 d_2 , 平均饱和磁化记为 M_2 , 则

$$1. \quad 1 < (M_1 \times d_1 + M_2 \times d_2) / S < 20$$

(这里 S 是 $M_1 \times d_1 - M_2 \times d_2$ 的绝对值), 而且

在① $M_1 \times d_1 - M_2 \times d_2 > 0$ 时, 把第 1 磁性体层的实效膜厚 d_{11} 取为

$$d_{11} = (M_1 \times d_1 - M_2 \times d_2) / M_1$$

在② $M_1 \times d_1 - M_2 \times d_2 < 0$ 时, 把第 2 磁性体层的实效膜厚 d_{22} 取为

$$d_{22} = (M_2 \times d_2 - M_1 \times d_1) / M_2$$

如果把从上述实效膜厚 d_{11} 或者 d_{22} 和自由磁性层面形状求出的外部磁场加入方向的上述自由磁性层面内的反磁场系数记为 N_m , 则 N_m 最好是 $N_m < 0.02$. 如果 $(M_1 \times d_1 + M_2 \times d_2) / S$ 的值为 1.1 以下, 则磁畴的单纯化效果减弱, 如果为 20 以上则抗磁力的增长显著. 另外, 自由磁性层的面形状 (例如圆形或者矩形) 与从实效膜厚 d_{11} 或者 d_{22} 求出的施加磁场方向的反磁场系数 N_m 为 0.02 以上, 则将引起磁畴形状的紊乱或者磁化旋转所需要的能量增大.

在 $M_2 \times d_2 > M_1 \times d_1$ 时, 构成第 2 磁性体层的磁性材料是软磁性材料或硬磁性材料, 构成第 1 磁性体层的磁性材料最好是至少在与中间层的界面中的高自旋极化率材料. 软磁性材料的 $M_2 \times d_2$ 如果比高自旋极化材料的 $M_1 \times d_1$ 大, 则能够实现对于外部磁场的磁化旋转容易而且磁畴紊乱少, 并且具有高 MR 的磁阻元件. 磁化旋转容易的磁阻元件可以用作为磁传感器, 而在把自由磁性层用作为存储器时, 通过在自由磁性层的膜面内带来适度的形状各向异性, 还能够用作为稳

定的磁存储器。另一方面，通过硬磁性材料的 $M_2 \times d_2$ 比高自旋极化材料的 $M_1 \times d_1$ 大，能够实现对于外部磁场的磁化旋转困难，而且磁畴紊乱少，并且具有高 MR 的磁阻元件。通过使用硬磁性材料，即使减小形状各向异性，也能够作为稳定的磁存储器。这里作为高自旋极化材料，最好是自旋极化率为 0.45 以上，特别是 0.5 以上的材料。

作为硬磁性材料，例如最好是 CoPt, FePt, CoCrPt, CoTaPt, FeTaPt, FeCrPt. .

作为软磁性材料，例如最好是 $Ni_{81}Fe_{19}$, FeSiAl, FeSi 或 $Fe_{90}Co_{10}$ 合金或者 CoNbZr, CoTaZr, CoFeB, CoTi, CoZr, CoNb, CoMoBZr, CoVZr, CoMoSiZr, CoMoZr, CoMoVZr, CoMnB 等 Co 系列非晶型材料，或者 FeSiNb, Fe(Si, Al, Ta, Nb, Ti)N 等 Fe 微晶体材料，或者 MnZn 铁素体，NiZn 铁素体等氧化物材料等。

作为高自旋极化率材料，最好是以 50wt% 以上包含

①从 Fe, Co, Ni 中选择出的金属强磁性元素的磁性体，例如 $Fe_xCo_{(100-x)}$ ($15 \leq X \leq 100$) 成分的 FeCo 合金， $Ni_xFe_{(100-x)}$ ($40 \leq X \leq 70$) 成分的 NiFe 合金，NiFeCo 合金，FeCr, FeSiAl, FeSi, FeAl, FeCoSi, FeCoAl, FeCoSiAl, FeCoTi, Fe(Ni)(Co)Pt, Fe(Ni)(Co)Pd, Fe(Ni)(Co)Rh, Fe(Ni)(Co)Ir, Fe(Ni)(Co)Ru 等强磁性或者稀薄磁性合金，②FeN, FeTiN, FeAlN, FeSiN, FeTa₂N, FeCoN, FeCoTiN, FeCoAlN, FeCoSiN, FeCoTa₂N 等氮化物，③ Fe_3O_4 ，④XMnSb, (X 是从 Ni, Cu, Pt 中选择出的至少一种)，LaSrMnO, LaCaSrMnO, CrO_2 的半金属强磁体，⑤MFeO₃ 型氧化物，尖晶石型氧化物，石榴石型氧化物等氧化物材料。

上述元件的自由磁性层包括从中间层一侧顺序叠层了的第 1 磁性体层，第 1 非磁性体层，第 2 磁性体层，如果把上述第 1 磁性体层的平均膜厚记为 d_1 ，平均饱和磁化记为 M_1 ，把上述第 2 磁性体层的平均膜厚记为 d_2 ，平均饱和磁化记为 M_2 ，则 $M_2 \times d_2 > M_1 \times d_1$ ，对于外部磁场的变化，即使减小磁阻值也能够做成可以获得一个极大值或者极小值的磁阻元件。这里，构成自由磁性层的 2 个磁性体层通过非磁性层反强磁性或者静止耦合地耦合，使得相互的磁化方向反平行并且稳定。如果对于外部磁场大小的磁化旋转的动作不同，则中间层的两侧都可以用作为可磁化旋转的磁性层（自由磁性层）。即使在夹持

中间层配置了 2 个自由磁性层的情况下，至少一方的自由磁性层（最好是更容易磁化旋转的自由磁性层）从中间层一侧开始，包括第 1 磁性体层，第 1 非磁性体层，第 2 磁性体层，如果满足 $M2 \times d2 > M1 \times d1$ 的关系，则对于外部磁场的变化，磁阻值至少可以得到一个极大值或者极小值。

如果加入外部磁场，则首先第 2 磁性体层沿着外部磁场方向旋转。第 1 磁性体层与第 2 磁性体层进行反强磁性耦合或者静磁耦合的耦合，对于外部磁场朝向几乎相反方向。进而，如果加入大的外部磁场则发生自旋双稳反转（以下，强耦合时的静磁耦合的反转也称为自旋双稳），每一个磁性层都朝向外外部磁场方向。从而，对于外部磁场的变化，如果把夹持中间层的其它磁性层的磁化方向视为几乎恒定，则在自旋双稳前后，磁阻值取得极大值或者极小值。假如是 $M2 \times d2 < M1 \times d1$ ，则这些极大值或者极小值并不明确地表现。夹持中间层的两个磁性层每一个都包括从中间层一侧顺序叠层了的第 1 磁性体层，第 1 非磁性体层，第 2 磁性体层，如果把上述第 1 磁性体层的平均膜厚记为 $d1$ ，平均饱和磁化记为 $M1$ ，把上述第 2 磁性体层的平均膜厚记为 $d2$ ，把平均饱和磁化记 $M2$ ，则满足 $M2 \times d2 > M1 \times d1$ 的关系，如果对于外部磁场的各个矫顽磁力或者自旋双稳磁场不同，则能够取得 2 值以上的极大值或者极小值。

对于外部磁场的极大值或者极小值能够进行对于外部磁场的磁阻的多值响应。沿着自由磁性层引起自旋双稳磁场的方向加入磁场时，如果去除外部磁场则可逆地返回，如果利用这一点，则至少能够把沿着上述磁场方向被存储了的第 2 磁性体层的磁化方向作为外部磁场加入时的磁阻的变化非破坏地读出。

自旋双稳磁场的大小能够用磁性体层的种类和膜厚，非磁性体层的种类和膜厚控制。矫顽磁力能够通过材料结晶粒尺寸，材料自身的结晶磁各向异性能量，作为元件形状、膜厚和饱和磁化的函数的形状磁各向异性能量的控制容易地进行调整。

上述元件的自由磁性层包括从中间层一侧顺序叠层了的第 1 磁性体层，第 1 非磁性体层，第 2 磁性体层，第 2 非磁性体层，第 3 磁性体层，如果把上述磁性体层的平均膜厚记为 d_n ，平均饱和磁化记为 M_n ($n = 1, 2, 3$)，则是 $M3 \times d3 > M1 \times d1$ 以及 $M3 \times d3 > M2 \times d2$ ，对

于外部磁场的变化，第 1 磁性体层与第 2 磁性体层的耦合磁场大小可以比第 3 磁性体层的存储器反转磁场小。该元件根据通过沿着第 3 磁性体层的磁化的存储方向加入上述存储器反转磁场以下而且上述耦合磁场以上的磁场而产生的磁阻的变化进行检测。

5 这里，作为存储器层的第 3 磁性体层在构成自由磁性层的磁性体层中，矫顽磁力或者磁化反转磁场最高，进而通过与第 2 磁性体层的反强磁性耦合，强磁性耦合或者静磁耦合地耦合。另外第 2 磁性体层与第 1 磁性体以反强磁性地或者静磁耦合地进行耦合。另外对于自由磁性层，夹持中间层的相对的其它强磁性体层比第 3 磁性体层的磁化
10 反转磁场还高，实质上最好视为固定磁性层。如果以第 3 磁性体层与第 2 磁性体层，第 2 磁性体层与第 1 磁性体层相互反强磁性地进行耦合的情况为例，则沿着存储了第 3 磁性体层的磁化方向相同的方向加入外部磁场的过程①中，不久在第 1 磁性体层与第 2 磁性体层之间产生自旋双稳，第 2 磁性体层的磁化变化成与外部磁场平行。在该过程
15 ①中，几乎不发生固定磁性层与第 1 磁性体层的磁化相对角的变化。另外如果去除外部磁场则第 2 磁性体层的磁化返回到初始状态。当然在第 1 磁性体层与第 2 磁性体层之间也可以使用不引起自旋双稳程度的磁场。另一方面，在沿着与存储了第 3 磁性体层的磁化方向反平行方向加入外部磁场的过程②中，第 1 磁性体层使磁化方向变化成与外
20 部磁场平行，固定磁性层与第 1 磁性体层的磁化相对角产生变化。

这里，如果外部磁场的大小是使得第 3 磁性体层不进行反转程度的大小，则在该过程②中如果去除外部磁场，则第 1 磁性体层的磁化方向返回到初始状态。通过加入分别与过程①以及过程②相当的外部
25 磁场，检测这时的磁阻变化部分，则能够非破坏地判断第 3 磁性体层的磁化的存储状态。通常，垂直电流型磁阻元件检测包括布线电阻的元件阻值，检测磁化状态，而由于元件电阻的分散性或者布线电阻的分散性等，如果没有比较大的磁阻变化则不能够进行判断。为了克服这一缺点，还提出了读取与基准元件的动作电压的方法，但是将带来布线的复杂化或者降低集成度。另外，还有通过加入外部磁场改变存
30 储方向，检测存储器的方法，但是将破坏存储器。本发明能够在非破坏的状态下检测磁阻元件的存储状态。

上述元件的自由磁性层具有被 2 层中间层夹持的结构，上述自由

磁性层还可以构成磁性体层与非磁性体层交互叠层的结构。还可以对于自由磁性层，进而在 2 个中间层的外侧使 2 个难以磁化旋转的磁性层（固定磁性层）相对。在被 2 个固定磁性层夹持的自由磁性层中，根据与它们的磁耦合，将显著地损坏自由磁性层的柔软性或者对于外部磁场响应的对称性。如果把自由磁性层取为进行静磁耦合或者反强磁性耦合的多层构造，则能够减少来自固定磁性层的漏磁场的影响。另外，通过自由磁性层具有多层构造，还具有抑制伴随着微细化而产生的自由磁性层的反磁场的效果。

上述元件的自由磁性层具有被 2 层中间层夹持的结构，上述自由磁性层还可以构成 $2n$ 层（ $n=1, 2, \dots$ ）的磁性体层与 $(2n-1)$ 层的非磁性体层相互叠层的结构。还可以对于自由磁性层，进而在 2 个中间层的外侧使 2 个难以磁化旋转的磁性层（固定磁性层）相对。

形成自由磁性层的磁性体层之间的耦合比较弱时，对于外部磁场的磁化响应性良好。这是考虑为 $2n$ 层磁性体层使反磁场能量适度降低那样，在各个磁化平缓束缚的基础上进行磁化旋转的缘故。另一方面，夹持非磁性体层的磁耦合强的情况下，在改善 $2n$ 层的磁性体层的磁畴构造或者抑制反磁场方面具有效果。另外，叠层了的磁性体层之间的静磁耦合或者反强磁性耦合等磁耦合的强度由非磁性体层的种类和膜厚控制。

实质上也可以把 2 个磁阻元件串联连接。串联连接的 2 个元件为了表示出最高的磁阻变化，需要各个元件的磁阻的最大值和最小值的磁化方向相同。如果使 2 个磁阻元件的极性（夹持中间层的磁性体层相互平行时磁阻低，反平行时磁阻高，或者夹持中间层的磁性体层相互平行时磁阻高，反平行时磁阻低）相互相等，则对于外部磁场的变化，各个元件在取相同磁化排列时可以得到最大的磁阻变化。

在磁性体层是 $2n$ ，而且构成自由磁性层的磁性体层之间的磁耦合比外部磁场充分弱时， $2n$ 层的磁性体都易于与外部磁场方向一致。这时，如果 2 个磁阻元件的极性相等，则在 2 个固定磁性层的磁化方向平行时磁阻变化能够取得最大值。

在磁性体层是 $2n$ ，构成自由磁性层的磁性体层之间的磁耦合比外部磁场充分强时，相邻的磁性体层的磁化朝向相互反平行时，如果 2 个磁阻元件的极性相等，则 2 个固定磁性层的磁化方向相互反平行时

磁阻变化能够取得最大值。固定磁性层的磁化方向通过改变叠层铁构造的层数能够进行控制。

上述元件至少具有顺序叠层了第 1 固定磁性层，第 1 中间层，第 1 磁性体层，第 1 非磁性体层，第 2 磁性体层，第 2 中间层，第 2 固定磁性层的结构，如果把上述磁性体层 n 的平均膜厚记为 d_n ，把平均饱和磁化记为 M_n ($n = 1, 2$)，则也可以是 $M_2 \times d_2 \neq M_1 \times d_1$ 。这里，第 1 磁性体层与第 2 磁性体层也可以进行反强磁性耦合或者静磁耦合使得相互的磁化成为反平行。通过成为相互反平行，将产生把 $M_2 \times d_2$ 以及 $M_1 \times d_1$ 的差作为实效的磁性层的磁化反转。

如果以用第 1 固定磁性层、第 1 中间层、第 1 磁性体层构成的磁阻元件与用第 2 磁性体层、第 2 中间层、第 2 固定磁性层构成的磁阻元件的极性相等为例，则第 1 固定磁性层与第 2 固定磁性层的磁化方向最好相互反平行。

第 1 固定磁性层与第 2 固定磁性层的磁化方向例如如果把第 1 固定磁性层做成与第 1 反强磁性体连接的单层的强磁性体，把第 2 固定磁性层做成具有由与第 2 反强磁性体连接的强磁性体/非磁性体/强磁性体构成的结构的叠层铁构造，在能够使相互的固定磁化方向成为反平行。这里举出 1 例，而通过分别改变固定磁性层的叠层铁片构造的层数，改变自由磁性层的层数，或者用极性不同的磁阻元件构成也可以得到相同的效果，这些在概念上是相同的。

上述元件的至少 1 层的自由磁性层具有被 2 层中间层夹持的结构，上述自由磁性层也可以构成为 $(2n + 1)$ 层 ($n = 1, 2, \dots$) 的磁性体层与 $2n$ 层的非磁性体层相互叠层的结构。还可以对于自由磁性层，进而在 2 个中间层的外侧使 2 个难以磁化旋转的磁性层（固定磁性层）相对。

在形成自由磁性层的磁性体层之间的耦合比较弱时，对于外部磁场的磁化响应良好。这是考虑为 $(2n + 1)$ 层的磁性体层使反磁场能量适度地下降那样在各个磁化返回到平缓束缚的基础上进行磁化旋转的缘故。另一方面，在夹持非磁性体的磁耦合强时，在改善 $(2n + 1)$ 层的磁性体层的磁畴构造，或者抑制反磁场方面具有效果。另外，叠层了的磁性体层之间的静磁耦合或者反强磁性耦合等磁耦合的强度能够通过非磁性体的种类和膜厚控制。

磁性体层是 $2n + 1$ ，而且构成自由磁性层的磁性体层之间的磁耦合比外部磁场充分弱时， $(2n + 1)$ 层的磁性体每一个都易于与外部磁场方向一致。这时，如果 2 个磁阻元件的极性相等，则在 2 个固定磁性层的磁化方向平行时磁阻变化可以取得最大值。

5 另外，同样，磁性体层是 $2n + 1$ ，构成自由磁性层的磁性体层之间的磁耦合比外部磁场充分强，相邻的磁性体层的磁化朝向相互反平行时，如果 2 个磁阻元件的极性相等，则在 2 个固定磁性层的磁化方向平行时，磁阻变化可以取得最大值。

10 另外上述元件至少具有按照第 1 固定磁性层、第 1 中间层、第 1 磁性体层、第 1 非磁性体层、第 2 磁性体层、第 2 非磁性体层、第 3 磁性体层、第 2 中间层、第 2 固定磁性层的顺序形成的结构，如果把上述磁性体层 n 的平均膜厚记为 d_n ，把平均饱和磁化记为 M_n ($n = 1, 2, 3$)，则也可以成为 $M_3 \times d_3 + M_1 \times d_1 \neq M_2 \times d_2$ 。

15 这里，第 1 磁性体层、第 2 磁性体层、第 3 磁性体层进行反强磁性耦合或者静磁耦合使得相互的磁化成为反平行，在 $M_3 \times d_3 + M_1 \times d_1 > M_2 \times d_2$ 的关系成立时，第 1 磁性体层和第 3 磁性体层对于外部磁场作用为实效的磁性层。另外这时第 2 磁性体层由于第 1 磁性体层与第 3 磁性体层的磁耦合，对于外部磁场外观上不起到磁性层的作用，在第 1 磁性体层和第 3 磁性体层对于外部磁场进行磁化旋转时，与各个
20 磁性层保持反强磁性耦合或者静磁耦合的同时进行磁化旋转。另一方面，在 $M_3 \times d_3 + M_1 \times d_1 < M_2 \times d_2$ 的关系成立时，第 2 磁性体层对于外部磁场起到实效的磁性层的作用。这时第 1 磁性体层与第 3 磁性体层由于与第 2 磁性体层的磁耦合因此外观上不起到磁性层的作用，在第 2 磁性体层对于外部磁场进行磁化旋转时几乎同时进行磁化旋转。

25 在用第 1 固定磁性层，第 1 中间层、第 1 磁性体层构成的磁阻元件与用第 3 磁性体层、第 2 中间层、第 2 固定磁性层构成的磁阻元件的极性相等时，在第 1 固定磁性层与第 2 固定磁性层的磁化方向相同时可以得到最大的磁阻变化。而通过改变固定磁性层的叠层铁构造的层数，或者改变自由磁性层的层数，或者用极性不同的磁阻元件构成，也可以得到相同的效果，这些在概念上是相同的。
30

另外上述元件中，可以做成为构成自由层磁性层的磁性体层中至少 1 层具有与其余的磁性体层的任一个不同大小的矫顽磁力或者饱和

磁化的磁阻元件。

例如，考虑自由磁性层由磁性体层和非磁性体层的多层膜构成，如果把从中间层一侧观看，配置在第 m ($m = 1, 2, \dots$) 个的磁性体层记为磁性体层 m ，把上述磁性体层 m 的平均饱和磁化 M_m 与平均膜厚 d_m 的积记为 $M_m \times d_m$ ，则 m 是奇数的 $M_m \times d_m$ 的总和实质上与 m 是偶数的 $M_m \times d_m$ 的总和相等，另外磁性体层之间进行反强磁性耦合或者静磁耦合的情况。在该结构中，在微细加工时，所有的磁性体层通过材料、膜厚等的选择如果是相同的矫顽磁力，则容易进行自由磁性层的磁化旋转，另一方面，却难以进行磁化状态的存储。但是，如果在磁性体层的一个中使用比其它的磁性体层矫顽磁力高的材料，则能够抑制微细型化时所产生的反磁场效果，而且能够在自由磁性层内产生存储磁化状态的适度的矫顽磁力。该结构与基于利用了形状各向异性的单轴各向异性的存储器过大地依赖于元件微细化的精度，而且在微细化时易于过渡地进行矫顽磁力化的情况相比较，具有可以得到稳定的适度矫顽磁力的优点。

另外例如，考虑在构成自由磁性层的磁性体层的内部，如果把从中间层一侧配置在第 m ($m = 1, 2, \dots$) 个的磁性体层记为磁性体层 m ，把上述磁性体层 m 的平均饱和磁化 M_m 与平均膜厚 d_m 的积记为 $M_m \times d_m$ ，则 m 是奇数的 $M_m \times d_m$ 的总和与 m 是偶数的 $M_m \times d_m$ 的总和不同，磁性体层之间进行反强磁性耦合或者强静磁耦合的情况。微细化了的元件的反转磁场几乎与奇数层与偶数层中的差成比例。为了适度地保持微细加工元件中的反转磁场，可以控制 M_m 或者 d_m 。但是在被微细加工到亚微细粒的元件中，在实际膜厚的控制中将产生技术上的界限，产生反转磁场的分散性。从而，如果在决定反转磁场的磁性体层中进行设计使得选择 M 小的材料，则能够抑制大面积中的元件的反转磁场的分散性。

另外，自由磁性层至少由第 1 磁性体层、第 1 非磁性体层、第 2 磁性体层这 3 层构成，把 $M_2 \times d_2 > M_1 \times d_1$ 磁阻元件记为元件 A，把从中间层开始具有第 3 磁性体层和第 4 磁性体层，而且具有 $M_3 \times d_3 > M_4 \times d_4$ 的自由磁性层的磁阻元件记为元件 B，上述元件 A 以及上述元件 B 可以组合用作为垂直电流型元件，使得对于相同的外部磁场进行响应，而且把上述元件 A 以及上述元件 B 的相互的输出进行加法或者减

法运算。

如果依据该结构，则在元件 A 中第 1 磁性体层，在元件 B 中第 2 磁性体层分别朝向与外部磁场相同的方向。从而与中间层相对的第 1 磁性体层在元件 A 和元件 B 中朝向不同的方向。元件 A 和元件 B 的固定层如果都是相同的朝向，则对于同一方向的外部磁场，元件 A 取得最大阻值的状态与元件 B 取得最大阻值时的外部磁场的朝向相互不同。用作为器件时，除去磁阻元件的阻值以外，还要乘上周边的电路电阻值，因此不能够充分地获得 S/N，而如上述那样把 A、B 这 2 个元件组合起来，通过抵消基本阻值（电路阻值 + 元件低阻时的阻值），能够得到高 S/N。

本发明的另一个方案是提供垂直电流型磁阻元件，该磁阻元件的特征是包括中间层和夹持上述中间层的一对磁性层，上述磁性层的一方是比另一方的磁性层对于外部磁场难以磁化旋转的固定磁性层，而且上述固定磁性层与基底层或者反强磁性体层连接，而且电流流过的元件面积（中间层的面积）为 $1000\mu\text{m}^2$ 以下，最好是 $10\mu\text{m}^2$ 以下，更理想的是 $0.1\mu\text{m}^2$ 以下。该固定磁性层至少具有由一层非磁性体层，夹持上述非磁性体层的磁性体层构成的多层构造，上述非磁性体层的厚度 d 是 $0.3\text{nm} < d < 2.6\text{nm}$ 的范围。

固定磁性层对于外部磁场最好是比另一方的磁性层（自由磁性层）难以进行 50 Oe 以上磁化旋转。

通过采用这样的结构，非磁性体层与磁性体层进行反强磁性耦合，使磁畴单纯，能够得到高 MR。这时，如果 d 成为 0.3nm 以下则热稳定性恶化。在 d 为 2.6nm 以上时，前述的静磁耦合成为支配性的。伴随着 300°C 以上的热处理的情况下， d 最好是 $0.7\text{nm} \sim 2.6\text{nm}$ 的范围。作为磁性体层的厚度，最好是可以进行强反强磁性耦合的 $0.3\text{nm} \sim 10\text{nm}$ 左右。

作为非磁性体，只要是具有导电性的金属或者金属化合物则任何一种均可，特别最好是 Cu, Ag, Au, Ru, Rh, Ir, Re, Os。另外，还可以是这些金属的合金或者以 50wt% 以上包含这些金属元素的合金或者化合物。

在构成固定磁性层的磁性体层内，如果把从中间层一侧配置为第 m ($m = 1, 2, \dots$) 个的磁性体层记为磁性体层 m ，把上述磁性体层 m

的平均饱和磁化 M_m 与平均膜厚 d_m 的积记为 $M_m \times d_m$, 则通过 m 是奇数的 $M_m \times d_m$ 的总和实质上与 m 是偶数的 $M_m \times d_m$ 的总和相等, 能够使对于外部磁场的磁化旋转困难。

但是, 自由磁性层在通过偏置磁场进行磁畴控制时, 或者根据所谓的瓣形效应等, 进行与中间层等的正耦合时, 以矫正该磁场偏移为目的, 也可以通过使 m 是奇数的 $M_m \times d_m$ 的总和与 m 是偶数的 $M_m \times d_m$ 的总和稍稍偏离, 发生偏置。其中该微小偏移量的上限由磁化饱和 \times 膜厚表示, 最好是 2nmT 以下。

把固定磁性层从中间层一侧交互叠层了 $2n$ 层的磁性体层与 $(2n - 1)$ 层的非磁性体层的磁阻元件作为元件 A, 把固定磁性层从中间层一侧交互叠层了 $(2n + 1)$ 层的磁性体层与 $2n$ 层的非磁性体层的磁阻元件作为元件 B ($n = 1, 2, 3, \dots$), 可以把 1 对或者 2 对以上的元件组合使用, 使得上述元件 A 以及上述元件 B 的自由磁性层对于相同的外部磁场进行应答, 而且把上述元件 A 以及上述元件 B 的相互的输出进行加法或者减法运算。这里, 构成各个固定磁性层的磁性体层之间最好通过反强磁性耦合或者静磁耦合使得相互的磁化方向反平行。

如果依据该结构, 则元件 A 与元件 B 的极性相同 (夹持中间层的磁性体层之间的磁化方向平行时阻值低 (或者高), 或者磁化方向相互反平行时阻值高 (或者低)) 时, 对于来自同一方向的外部磁场, 元件 A 取得最大阻值的状态与元件 B 取得最大阻值时的外部磁场的朝向相互不同。用作为器件时, 除去磁阻元件的阻值以外, 由于还加入周边的电路阻值, 因此不能够充分得到 S/N , 而如上述那样, 把 A、B 两个元件组合, 能够抵消基本阻值 (电路的阻值 + 元件的低阻时的阻值), 能够得到高 S/N 。

如果把构成自由磁性层内的非磁性体, 或者构成固定磁性层内的非磁性体层的至少一部分取为从氧化物、氮化物、碳化物以及硼化物选择出的至少一种化合物, 则耐热性将提高。这是由于这些化合物比与磁性体层相互扩散时的能量值, 作为化合物状态的能量值更稳定。其中, 非磁性体层作为总体最好是导电体, 是充分低的阻值。

作为非磁性体的一部分是上述化合物的形态之一, 可以举出非磁性体层是由从氧化物、氮化物、碳化物以及硼化物中选择出的至少一

个构成的至少 1 层非磁性体与至少 1 层非磁性金属的多层膜。例如，能够通过把上述的非磁性金属 X ($X = \text{Cu}, \text{Ag}, \text{Au}, \text{Ru}, \text{Rh}, \text{Ir}, \text{Re}, \text{Os}$) 与从氧化物、氮化物、碳化物以及硼化物中选择出的 R (例如 $R = \text{SiO}_2, \text{SiC}, \text{Si}_3\text{N}_4, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{AlN}, \text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Cr}_2\text{N}, \text{TiO}, \text{TiN}, \text{TiC}, \text{HfO}_2, \text{HfN}, \text{HfC}, \text{Ta}_2\text{O}_5, \text{TaN}, \text{TaC}, \text{BN}, \text{B}_4\text{C}$ 或者以上的混合物) 做成两层以上的多层膜，也将提高耐热性。

如果使用包括从 IVa ~ VIa, VIII (但是除去 Fe, Co, Ni) 以及 Cu 选择出的至少一种的基底层，特别是固定层是磁性体层与非磁性体层的多层膜时，即使不使用 IrMn, FeMn 等反强磁性材料，在刚刚成膜以后，也将产生强反强磁性耦合。另外，由于不使用含有 Mn 的反强磁性材料，因此能够抑制热处理时由于 Mn 扩散引起的 MR 降低。

基底层与磁性体层连接，上述基底层与上述磁性体层如果是从 fcc 或 fcp 构造选择出的至少一种晶体构造，或者每一种都是 bcc 构造，则将特别增强固定层内的磁性体层之间的反强磁性耦合。

反强磁性体层如果是从 Mn, Tc, Ru, Rh, Re, Os, Ir, Pd, Pt, Ag, Au, Al 选择出的至少一种与 Cr 的合金，则能够得到出色的耐热性。其中，在合金中也可以在 10at% 以下的范围包含有上述以外的元素。

特别是，反强磁性体层由组成式 $\text{Cr}_{100-x}\text{Me}_x$ (Me 是从 Re, Ru 以及 Rh 中选择出的至少一种) 表示，如果是 $1 \leq x \leq 20$ 的范围，则可以得到出色的耐热性。

另外，特别是反强磁性体层由组成式 $\text{Mn}_{100-x}\text{Me}_x$ (Me 是从 Pd 以及 Pt 中选择出的至少一种) 表示，如果是 $40 \leq x \leq 55$ 的范围，则可以得到出色的耐热性。这是考虑为与 IrMn, FeMn 相比较，由于贵金属的含有量高的缘故。在该 MnMe 组成中，进而还可以在含有量为 10at% 以下的范围含有 Tc, Ru, Rh, Re, Os, Ir, Pd, Pt, Ag, Au, Al 等其它的元素。

进而，反强磁性体层形成在基底层上，如果上述基底层和上述反强磁性体层是从 fcc, fct, fcp 以及 hct 构造中选择出的至少一种晶体构造，或者上述基底层和上述反相磁性体层都是 bcc 构造，则将提高耐热性。这考虑为通过基底层促进反强磁性体的晶体生长，减少畸变，抑制构成反强磁性体的元素的扩散的缘故。

特别是, 反强磁性体层用 $Mn_{100-x}Me_x$ (Me 是从 Pd 以及 Pt 中选择出的至少一种) 表示, 是 $40 \leq x \leq 55$ 的范围, 如果基底层是 NiFe 或 NiFeCr, 则将提高反强磁性体层的结晶性. 这种情况下可以看到在 300℃ 以上的热处理中耐热性的显著提高.

- 5 这考虑为减少由于结晶性的提高引起的畸变, 进而, 抑制热处理时的晶粒生长的效果.

与反强磁性体连接的磁性体层如果是 Co, 则能够特别抑制与反强磁性体的相互扩散.

- 上述元件中, 也可以把与从反强磁性体层以及非磁性体层中选择出的至少一方连接的磁性体层的至少一部分取为包含有从氧、氮以及碳中选择出的至少一种元素的强磁性体. 通过使用对于热相对稳定的物质, 能够抑制基于热处理时的层间扩散的恶化. 该磁性体层可以是
- 10 ①金属反强磁性体/含有氧、氮或者碳的强磁性体/金属反强磁性体的 3 层构造, ②含有氧、氮或者碳的强磁性体/金属强磁性体的 2 层构造
- 15 或者③磁性体层全部是含有氧或者氮的强磁性体. 作为含有氧的反强磁性体, 例如最好是从 Fe_3O_4 , MnZn 铁素体, NiZn 铁素体等的铁素体材料为代表的尖晶石型氧化物, 石榴石型氧化物, $MFeO_3$ 氧化物, TMO (从 $T = Fe, Co$ 以及 Ni 中选择出的至少一种, 从 $M = Al, Si, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr$ 以及 Mg 中选择出的至少一种) 等表示的氧化物强磁性体. 作为含有氮的强磁性体, 最好是 TN, TMN (这里, T, M 与上述相同) 等的氮化物反强磁性体. 另外作为含有碳的强磁性体, 最好是 TMC (这里, T, M 与上述相同) 等的碳化物强磁性体.
- 20

- 上述元件中, 也可以把与从反强磁性体层以及非磁性体层中选择出的至少一方连接的磁性体层的至少一部分取名为非晶型强磁性体. 这是因为可以抑制热处理时的层间扩散. 作为非晶型材料, 例如
- 25 最好是 $Co(Fe)NbZr$, $Co(Fe)TaZr$, $CoFeB$, $Co(Fe)Ti$, $Co(Fe)Zr$, $Co(Fe)Nb$, $Co(Fe)MoBZr$, $Co(Fe)VZr$, $Co(Fe)MoSiZr$, $Co(Fe)MoZr$, $Co(Fe)MoVZr$, 或者 $Co(Fe)MnB$ 等.

- 上述元件中, 如果把固定磁性层的膜厚记为 df , 反强磁性体的厚度记为 da , 则最好是取
- 30

$$2nm \leq df \leq 50nm$$

$$5nm \leq da \leq 100nm$$

$$0.1 \leq df/da \leq 5$$

的范围。如果固定磁性层的厚度比 2nm 薄, 则有时通过反强磁性材料的扩散将引起固定层的磁恶化。另外如果比 50nm 厚, 则有时将加大基于微细形状的面内的反磁场, 产生磁畴的紊乱, 或者不能够得到
5 基于反强磁性材料的充分的固定磁场。如果反强磁性体的厚度比 5nm 薄, 则有时不能够得到充分的固定磁场。如果比 100nm 厚, 则有时通过层间扩散将促进固定层的磁恶化。特别是在 350℃ 以上的热处理以后, MR 的恶化减少的理想的 df 与 da 的比是 $0.1 \leq df/da \leq 5$ 。如果比 0.1 小, 则易于引起层间扩散, 另外如果比 5 大, 则将易于减弱
10 基于反强磁性体的固定磁场, 或者由于反磁场加大磁畴的紊乱。

上述元件形成在下部电极上, 可以把上述下部电极做成金属多层膜。在元件中流过电流的下部电极为了抑制基于形状效果的特性分散性, 需要较厚地形成数十 nm 左右到数百 nm 左右。由此根据热处理温度不能够忽视晶粒生长, 将特别地产生分散性。为了抑制晶粒生长
15 通过把下部电极取为不同材料的多层构造能够提高耐热性。

作为金属多层膜, 最好是从 Ag, Au, Al 中选择出的至少一种为主成分 (50wt% 以上) 的高导电性金属层与由①从 IVa ~ VIa (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mn, Mo) 以及 VIII (Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir) 中选择出的至少一种成分为主成分的金属以及②从导电
20 性氧化物, 导电性氮化物以及导电性碳化物中选择出的材料的某一种构成的晶粒生长抑制层的多层膜。作为高导电性金属层的厚度, 最好是数 nm ~ 100nm 左右, 而最为作为晶粒生长抑制层最好是数 nm ~ 数 nm 左右, 在本说明书中所谓主成分指的是占 50wt% 以上的成分。

如果把中间层做成包含从氧、氮、碳以及硼中选择出的至少一种
25 元素的绝缘体或者半导体, 则构成利用了隧道磁阻效应的垂直电流型磁阻元件。作为理想的中间层的材料, 可以举出例如 SiO_2 , SiC , Si_3N_4 , Al_2O_3 , AlN , Cr_2O_3 , TiC , HfO_2 , HfN , HfC , Ta_2O_5 , TaN , TaC , BN , B_4C , DLC (钻石类碳), C_{60} , 或者上述化合物的混合物。

另一方面, 如果把从中间层做成从迁移金属中选择出的至少一种
30 构成的金属, 或者迁移金属与从氧、氮以及碳中选择出的至少一种导电性化合物材料, 就可以制做具有低矫顽磁力以及高耐热性的利用了 CPP - GMR 效果的垂直电流型磁阻元件。在该 CPP - GMR 元件中, 元件

面积最好是 $0.01 \mu\text{m}^2$ 以下。

元件面积在 $0.01 \mu\text{m}^2$ 以下，则能够谋求提高元件阻值，同时能够通过上述磁阻元件解决微细化产生的抗磁力恶化，耐热性恶化的课题。

- 5 作为中间层，即使是迁移金属，最好也是特别地从 V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Cu, Ag, Au, Ru, Rh, Ir, Re 以及 Os 中选择出的一种。通过使用这些元素在不失去导电性的程度上的氧化、氮化或者碳化了的导电性化合物，或者上述迁移金属 X 与从氧化物、氮化物、碳化物、硼化物中选择出的 R ($R = \text{SiO}_2, \text{SiC}, \text{Si}_3\text{N}_4, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{AlN}, \text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Cr}_2\text{N},$
10 $\text{TiO}, \text{TiN}, \text{TiC}, \text{HfO}_2, \text{HfN}, \text{HfC}, \text{Ta}_2\text{O}_5, \text{TaN}, \text{TaC}, \text{BN}, \text{B}_4\text{C}$ ，或者以上的混合物) 等的 XR 混合物，或者 X/R 那样 2 层以上的多层膜能够提高元件阻值以及提高耐热性。

- 如果把夹持中间层的磁性层的至少一方的至少一部分做成含有氧、氮或者碳的强磁性体，或者非晶型强磁性体，则能够提高基于 CPP
15 - GMR 的效果的垂直电流型磁阻元件的元件阻值。作为含有氧的反强磁性体，例如最好是以 Fe_3O_4 , MnZn 铁素体, NiZn 铁素体的铁素体材料为代表的尖晶石型氧化物，石榴石型氧化物，或者 MFeO_3 型氧化物等，或者 TMO ($T = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}; M = \text{Al}, \text{Si}, \text{Ti}, \text{Zr}, \text{Hf}, \text{V}, \text{Nb}, \text{Ta}, \text{Cr}, \text{Mg}$) 等的氧化物强磁性体。作为含氮的强磁性体，最好是 TN, TMN
20 (这里，T, M 与上述相同) 等的氮化物强磁性体。另外作为含有碳的强磁性体，最好是 TMC (这里，T, M 与上述相同) 等。作为非晶型材料，最好是例如 $\text{Co}(\text{Fe})\text{NbZr}, \text{Co}(\text{Fe})\text{TaZr}, \text{CoFeB}, \text{Co}(\text{Fe})\text{Ti}, \text{Co}(\text{Fe})\text{Zr}, \text{Co}(\text{Fe})\text{Nb}, \text{Co}(\text{Fe})\text{MoBZr}, \text{Co}(\text{Fe})\text{VZr}, \text{Co}(\text{Fe})\text{MoSiZr}, \text{Co}(\text{Fe})\text{MoZr}, \text{Co}(\text{Fe})\text{MoVZr}, \text{Co}(\text{Fe})\text{MnB}$ 等。

- 25 如果把垂直电流型磁阻元件的自由磁性层作为磁存储器层，则能够用作具有高 S/N，低功耗的存储器元件。

另外垂直电流型磁阻元件还可以具备磁通导向体，特别是通过把自由磁性层的至少一部分用作作为磁通导向体，能够减少巴克好森噪声，用作作为高 S/N 的磁再生元件。

- 30 如果把自由磁性的元件形状的最长宽度记为 a，最短宽度记为 b，则通过 a/b 为 $5 < a/b < 10$ 以下，能够制做存储稳定性高的磁阻元件，或者再生灵敏度高的磁阻元件。

另外，在把垂直电流型磁阻元件进行 $300^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 的热处理后，实施 $200^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 的磁场中热处理，则能够得到出色的 MR 特性。这里， $300^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 的热处理也可以是氢烧结或者钝化膜的形成等的所谓的过程热处理。在尼耳温度或者闭塞温度附近的热处理以后，通过
5 实施磁场中热处理，特别地同样决定反强磁性体的磁场方向。

特别是在使用了反强磁性体的元件中，通过实施 $300^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 的磁场中热处理，能够进一步得到强固定磁场。

在把本发明的垂直电流型磁阻元件与半导体器件等混合搭载的情况下，例如在形成了 CMOS 等半导体元件和伸出电极的基板形成了
10 至少由 1 层反强磁性体层、固定磁性层、中间层以及自由磁性层构成的多层膜以后，在 $200^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行磁场中热处理，在反强磁性体、自由磁性层等中进行单轴各向异性形成工艺。

该工艺最好是反磁场的影响最少，并且在磁性多层膜的微细化之前进行。在进行元件微细加工，电极布线等过程中，进而在还原电极
15 等的氧化物，使布线阻抗为低阻抗的目的下，可以在 $300^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 的还原气氛中，例如含有氢的气氛中，进行热处理。在还原气氛中的热处理以后进而在磁场中进行热处理，将有效提高元件特性，而如果考虑电极等的氧化，则预先实施磁场中热处理的过程在工业方面是有用的。作为反强磁性材料，特别地最好是 PtMn, PtPdMn。

另外，也可以做成搭载多个垂直电流型磁阻元件，而且把基于电磁波的通信信息保存在上述垂直电流型磁阻元件的自由磁性层中的
20 便携装置。该装置中，除去 MRAM 的非易失性而且高速的特征以外，还由于实现低矫顽磁力低功耗，因此在便携装置中，能够用作为图像、声音等的大容量，高速写入、读出所需要的存储器。

另外，也可以做成具有至少顺序地形成了第 1 固定磁性层，第 1 中间层，第 1 自由磁性层，非磁性导电层，第 2 自由磁性层，第 2 中间层、第 2 固定磁性层的结构，而且上述第 1 自由磁性层或者上述第
25 2 自由磁性层中至少一方具有交互叠层了磁性体层和非磁性体层的结构的磁阻元件。

通过非磁性导电层，把第 1 固定磁性层，第 1 中间层，第 1 自由磁性层以及第 2 自由磁性层，第 2 中间层，第 2 固定磁性层电串联连接，例如在中间层是使用隧道效果的绝缘体的情况下，能够减轻同一
30

偏置中的磁阻的恶化程度。另外，例如，在中间层是使用 CPP - GMR 效果的导电体时，通过串联连接，能够提高元件阻值。2 个自由磁性层通过位于 2 个中间层所夹的区域中，能够抑制由于外部磁场的分布引起的磁化旋转的分散性。自由磁性层中，至少一层通过具有交互叠层了磁性体层和非磁性体层的结构，能够减轻微细化引起的反磁场。

另外，也可以做成经过非磁性导线层邻接的磁性体层的磁化方向相互反平行的磁阻元件。经过非磁性体邻接的磁性体层的磁化方向是相互平行时，经过非磁性导电层，由于相邻的磁化的静磁能量高，因此将产生对与外部磁场的非对称性。为此，即使 2 个自由磁性层存在于中间层相同的区域一侧，其结果仍然使对于外部磁场的磁阻变化的响应性恶化。通过相互成为反平行状态，能够把静磁能量的增长减小到最小，能够提高微细化时的元件驱动稳定性。

另外，也可以做成非磁性导电层的厚度是 2.6nm - 50nm 的磁阻元件。如果非磁性导电层厚度比 2.6nm 薄，则由于反强磁性交换耦合或者强磁性交换耦合增强因此不理想。如果比 50nm 厚，则不能够忽视外部磁场分布的影响，2 个自由磁性层感应的磁场的大小不同。作为在非磁性导电层中使用的材料，虽然没有特别的限制，可以是电阻率 1000Ω cm 以下。例如，可以是 Cu, Al, TiN, TiWN, CuAl, CuAlTi, Ag, Au, Pt 等作为通常导电性电极材料使用的非磁性体。

另外，在由 4 层固定磁性层，2 层自由磁性层，四层中间层构成的磁阻元件中，可以做成自由磁性层的至少一方是交互叠层了磁性体层和非磁性体层结构的磁阻元件。

上述结构的代表例是第 1 反强磁性体层/第 1 固定磁性层/第 1 中间层/第 1 自由磁性层/第 2 中间层/第 2 固定磁性/第 2 反强磁性体层/第 3 固定磁性层/第 3 中间层的/第 2 自由磁性层/第 4 中间层/第 4 固定磁性层/第 3 反强磁性体层。固定磁性层在由具有高矫顽磁力的磁性体构成的情况下，或者由叠层铁构成的情况下，不一定需要反强磁性体。通过采用上述结构，能够把具有 4 层中间层的 TMR 元件或者 CPP - GMR 元件的总体厚度减少到最小，因此能够实现具有 4 层中间层的器件的小型化。进而，在 TMR 元件中，能够显著地改善偏置的依赖性。在 CPP - GMR 元件中，能够实行高阻化。自由磁性层通过把磁性体层和非磁性体层多层化，能够抑制反磁场引起的特性恶化。固定磁

性层通过把磁性体层与非磁性体层多层化，能够改善自由磁性层的磁非对称。

另外，可以做成至少具有叠层了固定磁性层，中间层，自由磁性层的结构，上述自由磁性层与缓冲层连接，在上述缓冲器与上述缓冲层邻接的磁性体组成中，包含 10wt% ~ 50wt% 的非磁性元件，而且饱和磁化为 0.2T 以下的组成的磁阻元件。自由磁性层由于抑制反磁场、因此在薄膜化到 2nm 以下时，由于薄膜化引起的结晶构造的紊乱或者制做时的界面反应等磁特性将恶化。作为与自由磁性层连接的缓冲层，通过使用在构成自由磁性层的磁性体成分中加入了非磁性元件的材料，例如在把缓冲层用作为自由磁性层的基底时具有自由磁性层的结晶性提高或者在自由磁性层的上部使用时具有抑制由界面反应引起的磁恶化的效果。自由磁性层既可以是单层，另外也可以是把磁性体层与非磁性体层多层膜化的多层。在后者的情况下，缓冲层最好与磁性体层连接。

为了抑制反磁场缓冲层的饱和磁化最好是 0.2T 以下。另外从缓冲层的结晶构造维持以及饱和磁化的抑制出发，加入到磁性体成分中的非磁性元素最好是 10wt% - 50wt%。

另外，可以做成包含在缓冲层中的非磁性元件中，包含有至少从 Cr, Mo 以及 W 中选择出的一种的磁阻元件。这些材料例如通过与 Fe, Ni, Co, FeNi, FeCo, CoFeNi 合金，在自由磁性层的薄膜化中显示出出色的效果。另外，在这些材料中，特别是最好把磁性体层做成 NiFe 的 NiFeCr，最好是 $(\text{NiFe})_{61}\text{Cr}_{39}$ 的组成附近。

另外，还可以做成自由磁性层至少由 1 层非磁性体层和把上述非磁性体层夹持在中间的磁性体层构成，上述磁性体层的膜厚的总计至少是 4nm 的磁阻元件。通过把自由磁性层采用磁性体层与非磁性体层的多层构造，能够抑制伴随着元件等微细化的抗磁力的增长。例如在把自由磁性层用作为存储器时，例如使用电流发生磁场进行存储器反转时，具有降低功耗的优点。但是，另一方面，在用 KuV/kBT (Ku 是单轴各向异性能量， V 是体积， kBT 是玻尔兹曼常数以及绝对温度) 所表示的热稳定性指标中，由于减小 Ku (抗磁力 = $2Ku/M$; M 是磁化)，存储器的热稳定性强恶化。但是，通过加大包含在多层膜化时的存储器 (自由磁性层) 内的磁性体层的体积 V ，能够提高热稳定性。磁性

体层的全部膜厚最好是 4nm, 更好的是 8nm 以上。

本发明的磁阻元件的最单纯的基本结构可以是在把中间层夹持在中间的至少 2 层磁性层之间通过中间层流过电流的形状。在最单纯的结构中, 在绝缘基板或者导电基板上使用气相成膜法形成下部电极 / (基底层或者反强磁性层) / 固定磁性层 / 中间层 / 自由磁性层。也可以形成下部电极 (基底层) / 自由磁性层 / 中间层 / 固定磁性层 (反强磁性体层)。在把该多层膜加工成台面型, 在用层间绝缘体覆盖了侧面以后, 形成上部电极, 在下部电极与上部电极之间流过电流, 读出对应于磁性层之间的磁化相对角的变化了的电压变化。

形成各个磁性体, 反强磁性体, 层间绝缘层, 电极, 中间层等的气相成膜法是使离子束沉积 (IBD), 簇型离子束, RF, DC, ECR, 螺旋形极化天线 (ハリユニ), ICP, 相对阴极等的溅射法, MBE, 离子喷镀法等通常在薄膜形成中使用的 PVD 制做。在层间绝缘层或者中间层的制做中也可以使用 CVT。进而, 各个层是氧化物, 氮化物, 碳化物, 硼化物等的情况下, 也可以使用化学束外延附生法, 气源 MBE, 反应性蒸镀, 反应性溅射制做。用气相成膜法形成以后, 通过控制适当的分压, 反应温度、时间等, 使反应元素的原子, 分子, 离子 (等离子), 基反应后进行制做。在等离子或者基的制做中, 能够通过 ECR 放电, 辉光放电, RF 放电, 螺旋形极化天线或者 ICP 等发生。

另外, 本发明的磁阻元件的台面型加工能够使用在通常的微细加工过程中使用的离子磨碎, RIE, EB, FIB 等物理的或化学的刻蚀法, 使用了根据需要的线宽的光刻技术进行制做。另外, 为了下部电极的平坦化, 通过使用 CMP 法, 簇型离子束刻蚀法等也能够有效地提高 MR。

附图简述

图 1 是本发明的垂直电流型磁阻元件的剖面图。

图 2 示出实施例 1 的样品①的曲线。

图 3 示出实施例 1 的样品②的曲线。

图 4 示出实施例 1 的样品③的曲线。

图 5 示出对于自由磁性层内的外部磁场的磁化响应。

图 6 示出元件宽度与抗磁力的关系。

图 7 是本发明的垂直电流型磁阻元件的剖面图。

图 8 是本发明的垂直电流型磁阻元件的剖面图。

图 9 是使用了本发明的磁通导向体的磁传感器的剖面图。

图 10 是使用了本发明的磁通导向体的磁传感器的动作原理图。

图 11 示出 MR 的热处理特性。

5 图 12 (A) 示出使用了本发明的垂直电流型磁阻元件的存储器，
图 (B) 使用宽度 a, b 示出自由磁性层的元件形状。

图 13 是使用了本发明的磁通导向体的磁传感器的剖面图。

图 14 示出改变了自由磁性层的膜厚结构的 MR 曲线。

图 15 是本发明的非破坏读出磁阻元件的动作原理图。

10 图 16 是本发明的非破坏读出磁阻元件的动作原理图。

图 17 示出本发明的非破坏读出存储器的结构。

实施例

实施例 1

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的 MR 元件。图
15 1 示出该元件的主要的层。

(样品 1)

Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) /PtMn (30) /CoFe (3) /Ru (0.7)
/CoFe (3) /Al₂O₃ (1) /NiFe (8) /Ta (3)

(样品 2)

20 Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) /PtMn (30) /CoFe (3) /Ru (0.7)
/CoFe (3) /Al₂O₃ (1) /NiFe (4) /Ta (3) /NiFe (4) /Ta (3)

(样品 3)

25 Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) /PtMn (30) /CoFe (3) /Ru (0.7)
/CoFe (3) /Al₂O₃ (1) /NiFe (5) /Ru (0.7) /NiFe (3) /Ta (3)
(括号内是膜厚, 单位是 nm; 膜结构从基板一侧开始表示; 以下相同)

这里 Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) 是基板 104 上的下部电极兼基
底层 103, PtMn 是反强磁性体, CoFe (3) /Ru (0.7) /CoFe (3) 是
固定磁性层 107, Al₂O₃ 是中间层 106, 其余的是自由磁性层 105 (最
表面 Ta (3) 是保护膜)。

30 热处理条件是在 240℃ 下在 5kOe 磁场中进行 1.5 小时。使用光
刻法把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成为 2~10 μm
的方形。在形成了层间绝缘膜以后, 形成上部电极 101 做成垂直电流

型磁阻元件。如图所示，自由磁性层的电流流过的面积作成为与中间层中电流流过的元件面积相比较稍小的大小。通过四端子法在室温下测定加工了的元件的 MR。图 2~图 4 中示出样品 1~3 的 MR 曲线例($5 \times 5 \mu\text{m}^2$)。RA (归一化接合电阻) 每一个都是 $60 \sim 70 \Omega \mu\text{m}^2$ 左右。

5 在样品 1、样品 2 中，示出通常的电子管型的 MR 曲线，分别是 24% 以及 30% 左右。另一方面，在样品 3 中 MR 是 25% 左右，在 400 Oe 附近可以看到特征的 MR 值的弯曲。这考虑为在样品 3 中作为磁性体层的 NiFe 之间随着外部磁场加大，自旋双稳化，该变化观测为磁阻的变化的缘故。即，如果在图 5 中模式的示出的自由磁性层内的对于
10 外部磁场的磁化响应那样，在样品 1、样品 2 中，随着外部磁场增强，自由磁性层的磁化方向接近于与外部磁场方向相同的方向。另一方面，在样品 3 中，膜厚厚的磁性体层 (中间层一侧记磁性体层) 由于对于外部磁场一起朝向相同方向，因此 MR 成为最大 (在本实施例中夹持中间层的上下的磁化方向反平行)，是 400 Oe 左右，这考虑是
15 由于夹持自由磁性层的非磁性体层的上下的磁性层暂时进行自旋双稳 (图 5, a)，因此夹持中间层的磁化的反平行状态崩溃，MR 降低的缘故。然后，为了把构成自由磁性层的磁性体层的每一个对于外部磁场都成为相同，再次开始增大 MR。

其次，从这些样品中的 50 Oe 的曲线的形状，观察到在样品 1 中
20 抗磁力大，而且矩形形状差。在样品 2 中抗磁力最小，而且形状也比较好。另外在样品 3 中矩形形状最好，但是抗磁力比较大。

图 6 示出各个样品对于元件宽度的抗磁力的变化。在样品 1 中随着元件尺寸成为微细，可以见到考虑为起因于反磁场的抗磁力的增大。另外在样品 3 中，与样品 1 相比较对于元件宽度的减少的抗磁力的
25 的增长平缓，在 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ 的元件中可以看到比样品 1 下降的倾向。这考虑是通过在磁性体层中采用与设置了膜厚差的非磁性体层的多层构造，使得实质上受反磁场影响的磁性层的膜厚成为 2nm 左右的缘故。另一方面，在样品 2 中，几乎看不到对于元件宽度的抗磁力增大。这考虑为来自夹持作为非磁性体层的 Ta 层的，具有相同膜厚的 2 层
30 的 NiFe 的漏磁场通过静磁耦合抑制了反磁场的结果。

在样品 2 中，改变作为被 NiFe 夹持的非磁性体层 Ta 的厚度，了解抗磁力的变化。元件尺寸取为 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ 。其结果，在厚度为 2.6 -

10nm 的范围中可以得到比样品 1 低的抗磁力。作为非磁性磁性体层，除去 Ta 以外，对于 Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Al, SiO₂, SiC, Si₃N₄, Al₂O₃, AlN, Cr₂O₃, Cr₂N, TiO, TiN, TiC, HfO₂, HfN, HfC, Ta₂O₅, TaN, TaC, BN, B₄C 等调查的结果，非磁性的金属，氧化物，氮化物，碳化物等每一种都具有与 Ta 相同的效果。

其次，对于样品 2，把元件尺寸取为 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ ，调查了夹持 Ta 的 2 层的 NiFe 厚度。首先，把 2 层的厚度取为相同，使厚度改变的结果，可以确认在 1nm ~ 100nm 内抗磁力减少。在该膜厚的范围内，制做成使得夹持 Ta 层的 2 层的 NiFe 的厚度不同的结果，与相同膜厚时相比较可以看到抗磁力增加的倾向。进而对于自由磁性层

样品 a: NiFe(X)/Ta(3)/NiFe(Y)/Ta(3)/NiFe(Z)

样品 b: NiFe(X)/Ta(3)/CoFe(Y)/Ta(3)/NiFe(Z)

样品 c: NiFe(X)/Ta(3)/NiFe(Y)/Ta(3)/CoFe(Z)

通过使 X, Y, Z 进行各种变化，调查该磁性体层的膜厚差的关系。其结果，在样品 a 中，在 $X + Y + Z$ 的厚度一定的条件下，在 $X + Z = Y$ 的条件下可以得到低抗磁力，进而在 $X = Z$ 时几乎得到最小值。另外在样品 b 中，在 $X + Y + Z$ 的厚度一定的条件下，如果把 NiFe 的饱和磁化记为 M_{s1} ，把 CoFe 的饱和磁化记为 M_{s2} ，则在 $M_{s1} \times (X + Z) = M_{s2} \times Y$ 的条件下可以得到低抗磁力，最小值是 $x = Z$ 的时候。进而在样品 c 中，在 $M_{s1} \times X + M_{s2} \times Z = M_{s1} \times Y$ 时得到低抗磁力。从以上可知，在把构成自由磁性层的磁性体层的内部，从中间层一侧配置为第 m ($m = 1, 2, \dots$) 个的磁性体层记为磁性体层 m ，把上述磁性体层 m 的平均饱和磁化 M_m 与上述平均膜厚 d_m 的积记为 $M_m \times d_m$ ，则 m 是奇数的 $M_m \times d_m$ 的总和与偶数时的 $M_m \times d_m$ 的总和实质上相同时可以做成得到低抗磁力的磁阻元件。

另外，对于样品 3，作为被 NiFe 夹持的非磁性体层，使用 V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Re, Ru, Os, Rh, Ir, Cu, Ag 或者 Au 调查了抗磁力的变化。元件尺寸是 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ 。与样品 3 相同，抗磁力的值比样品 1 小的非磁性体层厚度在 V 下是 0.9nm，在 Nb 下是 0.95nm，在 Ta 下是 0.7nm，在 Cr 下是 0.7nm，在 Mo 下是 0.52nm，在 W 下是 0.55nm，在 Re 下是 0.42nm，在 Ru 下是 0.8nm，在 Ir 下是 0.4nm，在 Cu 下是 0.8nm 等，在比大约 1nm 小的区域中示出了最小值。另外，随

着非磁性体层厚度的增加，每一个一旦抗磁力达到与样品 1 相等则增大，在 V 下是 1.8nm，在 Cr 下是 2.5nm，在 Re 下是 1.5nm，在 Cu 下是 2.1nm 等，能够确认再次减少到 1.5~2.6nm。另外，由于把每一个非磁性体层厚度从成膜速度换算，因此与实际的膜厚存在多少误差。另外，在 2.6nm 以上可以确认抗磁力减少，但是与样品 2 相同，不能够观测到自旋双稳。本实施例的非磁性体层除去单元素以外，也可以是从这些元素中选出的合金，或者把这些元素的一部分与氮、氧等发生反应的混合物。

其次，在样品 3 以及样品 1 是相同结构，把元件尺寸做成 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ 垂直电流型磁阻元件中，把自由磁性层的结构取为

样品 d: $\text{NiFe} (2 \times X)$

样品 e: $\text{NiFe} (5/4 \times X) / \text{Ru} (0.7) / \text{NiFe} (3/4 \times X)$

(括号内的公式是 NiFe 的厚度，单位是 nm)

通过改变 X 调查磁性体层的膜厚依赖性，其结果，在 0.5nm~15 100nm 内，在样品 b 的结构中可以确认抗磁力减少。对于 100nm 以上由于难以进行元件加工因此没有进行测定，但是认为能够期待同样的效果。

在该膜厚的范围内，制做成使得夹持 Ru 层的 2 层的 NiFe 厚度相同的结果，与不同膜厚时相比较 MR 减少。进而，把自由磁性层做成

20 样品: $\text{NiFe}(X) / \text{Ru}(0.7) / \text{NiFe}(Y) / \text{Ru}(0.7) / \text{NiFe}(Z)$

样品: $\text{NiFe}(X) / \text{Ru}(0.7) / \text{CoFe}(Y) / \text{Ru}(0.7) / \text{NiFe}(Z)$

样品: $\text{NiFe}(X) / \text{Ru}(0.7) / \text{NiFe}(Y) / \text{Ru}(0.7) / \text{CoFe}(Z)$

通过使 X, Y, Z 进行种种变化，调查该磁性体层的膜厚差的关系。其结果，在样品下，在 $X + Y + Z$ 的厚度一定的条件下，在 $X + Z = Y$ 的条件下 MR 小，进而在 $X = Z$ 时几乎成为最小值。另外在样品 g 中，在 $X + Y + Z$ 的厚度一定的条件下，如果把 NiFe 的饱和磁化记为 M_{s1} ，把 CoFe 的饱和磁化记为 M_{s2} ，则在 $M_{s1} \times (X + Z) = M_{s2} \times Y$ 的条件 MR 小，最小值是 $X = Z$ 时。进而在样品 h 中，在 $M_{s1} \times X + M_{s2} \times Z = M_{s1} \times Y$ 时 MR 成为最小值。

30 通过以上可知，如果把构成自由磁性层的磁性体层内，从中间层一侧配置在第 m ($m = 1, 2, \dots$) 个的磁性体层作为磁性体层 m ，把上述磁性体层 m 的平均饱和磁化 M_m 与平均膜厚 d_m 的积记为 $M_m \times d_m$,

则 m 是视奇数时的 $M_m \times d_m$ 的总和与 m 是偶数时的 $M_m \times d_m$ 的总和不同的垂直电流型磁阻元件中可以做成具有高 MR 的磁阻元件。

以上，作为自由磁性层的磁性体层以及固定磁性层的中间层附近的磁性体层，使用了 NiFe 或者 CoFe，而使用上述例示的磁性材料也能够得到同样的效果。

实施例 2

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / CoFe (32) / Al_2O_3 (X) / CoFe (3) / Ru (0.7) / CoFe (3) / PtMn (20) / Ta (3)

样品 2

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / (CoFe (4) / Ta (3) / CoFe (4)) * 4 / Al_2O_3 (X) / Fe (3) / Ru (0.7) / CoFe (3) / PtMn (20) / Ta (3)

样品 3

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / (CoFe (3) / Ru (0.7) / CoFe (5)) * 4 / Al_2O_3 (X) / CoFe (3) / Ru (0.7) / CoFe (3) / PtMn (20) / Ta (3)

这里，所谓*4 意味反复 4 次制做 (CoFe (4) / Ta (3) / CoFe (4)) 层。

使用光刻法，把多层膜微细加工成台面型，使得各个元件面积成为 2×5 , 10×25 , 20×50 , $40 \times 100 \mu m^2$ ，形成层间绝缘体膜后，形成上部电极，做成具有图 7 以及图 8 所示剖面的垂直电流型磁阻元件。这些元件中与图 1 不同，在基板一侧配置着自由磁性层 105。另外，作为样品 1~3 的中间层的 Al_2O_3 膜厚在各个元件面积中，调整膜厚使得测定值成为 $100 \mu m$ 左右。微细加工以后，在 $300^\circ C$ ，5kOe 的磁场中进行 1.5 小时热处理。

在微细加工成图 7 形状 of 样品 1~3 中，比较各个的抗磁力与 MR 的结果。其结果示于 (表 1)。在元件面积为 $2 \times 5 \sim 20 \times 50 \mu m^2$ 大小的样品中，样品 2, 3 分别比样品 1 示出低抗磁力和高 MR。另一方面，在元件面积是 $40 \times 100 \mu m^2$ 时，样品 2, 样品 3 虽然 MR 都高，但是样品 3 的抗磁力比样品 2 上升。

【表 1】

元件 形状	样品 1 MR (%) / 抗磁力 (Oe)	样品 2 MR (%) / 抗磁力 (Oe)	样品 3 MR (%) / 抗磁力 (Oe)
2×5	39/49	46/40	46/3
10×25	40/18	46/16	47/3
20×50	41/15	48/15	49/2
40×100	37/9	45/10	45/3

另外，把相同的样品微细加工成图 8 的形状，把自由磁性层的面积做成比元件面积大的结果，MR 分别上升 1~2%，改善了滞后形状矩形。

实施例 3

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (30) / CoFe (3) / Ru (0.7) / CoFe (3) / Al₂O₃ (1.5) / CoFe (d1) / Ru (0.7) / NiFe (d2) / Ta (3)

使用光刻法，把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成为 2 μm 的方形，形成层间绝缘膜以后，形成上部电极，制做了具有图 1 所示的剖面的垂直电流型磁阻元件。热处理条件在 260℃，5kOe 的磁场中进行 1.5 小时。在 ±200 Oe 外加磁场中把所制做的元件测定 MR，了解在比较小的外部磁场中 MR 的变化。结果示于 (表 2)。另外，这里，CoFe 的饱和磁化 M1 是 2.15T，NiFe 的饱和磁化 M2 是 1T，在该组成中，CoFe 是更高自旋极化率。表中 Nm 是根据 $d_{22} = (M2 \times d2 - M1 \times d1) / M2$ 计算出相应于外部磁场的实效膜厚 d22，求出了外加磁场方向中的膜面内的反磁场系数的值。S 是 $M1 \times d1 - M2 \times d2$ 的绝对值。

【表 2】

d1 (nm)	d2 (nm)	$(M1 \times d1 + M2 \times d2) / S$	$(M2 \times d2 - M1 \times d1) / M2$	Nm	MR (%)
2	4.5	44	0.2	0.00008	40
2	4.8	18.2	0.5	0.0002	46
2	5	13.28571429	0.7	0.003	47
2	10	2.50877193	5.7	0.004	49
2	20	1.547770701	15.7	0.008	43
2	30	1.33463035	25.7	0.012	41
2	50	1.188183807	45.7	0.019	40
2	100	1.089864159	95.7	0.036	30

从（表 2）可知， $(M1 \times d1 + M2 \times d2) / S$ 的值比 1 大比 20 小，
 5 而且在 Nm 比 0.02 小的区域中能够得到高 MR。这考虑为在 Nm 大时，
 产生磁畴紊乱，MR 减少，另外，在 $(M1 \times d1 + M2 \times d2) / S$ 大时，由
 于强烈地受到反强磁性耦合的影响，抗磁力增大，难以进行旋转磁
 化。

另外，在本实施例中，作为软磁性材料，把 $Ni_{81}Fe_{19}$ 作为高自旋
 10 极化率材料，分别使用 FeCo，而使用上述例示的材料也能够得到同样
 的效果。

实施例 4

制做了图 9 所示的磁通导向体型的传感器。

在用镀 NiFe 构成的下部屏蔽层 201 上作为基底层兼磁分离层 202
 15 成膜了 Ta，作为固定磁性层 207 成膜了 PtMn (20)
 /CoFe(3)/Ru(0.7)/CoFe(3)，作为中间层 206 成膜了 Al_2O_3 ，作为第
 1 磁性体层 205 成膜了 CoFe(1)/NiFe(4)，作为保护层成膜了 Ta
 (2) 以后，实施微细加工做成台面型，形成层间绝缘膜 203 以后，
 用 ECR 去除 Ta，接着形成了用作为第 2 磁性体层 NiFe 构成的磁通导
 20 向体 210 以后，形成作为非磁性体层/第 3 磁性体层 215 的 Ru(0.7)
 /CoFe(2)，作为中间层 216 的 Al_2O_3 ，作为固定磁性层 217 的 CoFe
 (3)/Ru(0.7)/CoFe(3)/PtMn(20) 和保护层以后，进行台面
 加工使得残留磁通导向体后，形成层间绝缘膜 213，设置磁分离层 212
 和上部屏蔽层 211。

另外，多层膜的结构成为以下那样的结构。

下部屏蔽层 201/磁分离层 202/PtMn (20) /CoFe (3) /Ru (0.7) /CoFe (3) /Al₂O₃ (1.7) /CoFe (1) /NiFe (4) /NiFe (10) /Ru (0.7) /CoFe (2) /Al₂O₃ (1.7) /CoFe (3) /Ru (0.7) /CoFe (3) /PtMn (20) /磁分离层 212/上部屏蔽层 211.

其次，把该传感器在 260℃ 的磁场中进行热处理，使固定磁性层 207 和固定磁性层 217 的磁化固定在相同方向。磁性体层 205 与磁性体 210 进行强磁性耦合，另外磁性体 210 与磁性体 215 进行反强磁性耦合。从而在通过磁通导向体插入的外部磁场中，夹持非磁性层的磁性体层的磁化方向分别示出不同的极性。从上部电极（上部屏蔽层）向下部电极（下部屏蔽层）流过电流，把下部电极（下部屏蔽层）与磁通导向体的电位取为 V1，把大磁通导向体与上部电极间的电位取为 V2，如图 10 那样获得各个电位的差，得到 S/N 高的传感器输出。这里，β 是放大率。

另外，除去本实施例以外，即使在把自由磁性层作为存储器的 MRAM 中，也能够得到高 S/N。

实施例 5

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) / (CoFe (3) /Ru (0.7) /CoFe (3)) /Al₂O₃ (X) /CoFe (1) /NiFe (4) /Ta (3) /NiFe (6) /Ta (3)

样品 2

Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) / (CoFe (3) /Ru (0.7) /CoFe (3)) *10/Al₂O₃ (X) /CoFe (1) /NiFe (4) /Ta (3) /NiFe (6) /Ta (3)

样品 3

Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) / (CoFe (2) /Ru (0.7) /CoFe (3)) *10/Al₂O₃ (X) /CoFe (1) /NiFe (4) /Ta (3) /NiFe (6) /Ta (3).

这里，(CoFe (Y) /Ru (0.7) /CoFe (Y)) *10 意味反复 10 次制做。另外，使用 CoFe 的饱和磁化是 2T，NiFe 是 1T 的材料。

使用光刻法把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成为 2 × 5, 10 × 25, 20 × 50, 40 × 100 μm²，形成层间绝缘膜，形成上部电极，制做具有图 1 所示剖面的垂直电流型磁阻元件。另外，作为样品

1~3 的中间层的 Al_2O_3 膜厚在各个元件面积中, 调整膜厚使得测定值成为 100Ω 左右. 在微细加工后, 在 330°C , 5kOe 的磁场中进行 1.5 小时热处理.

在 5000e 下测定各个 MR 的结果示于 (表 3).

5

【表 3】

元件形状 (μm)	样品 1 MR (%)	样品 2 MR (%)	样品 3 MR (%)
2×5	25	30	18
10×25	27	32	18
20×50	26	31	22
40×100	17	22	10

在样品 1 以及 2 中, 即使没有反强磁性体也示出了电子管型元件的 MR, 与此相对, 在样品 3 中示出了矫顽磁力差型的 MR 特性. 在元件面积是 $40 \times 100 \mu\text{m}^2$ 大小的样品中, 样品 1~3 中 MR 的降低度增大. 这考虑为元件面积增大, 在超过了 $1000 \mu\text{m}^2$ 时, 固定磁性层内的磁畴的多轴化显著. 另外在任一种元件形状中, 样品 1 或 2 示出高 MR. 样品 3 中 MR 的降低考虑为是从作为固定磁性层的 ($\text{CoFe}(2)/\text{Ru}(0.7)/\text{CoFe}(3)$) *10 层中产生漏磁场, 在作为自由磁性层的磁畴中产生紊乱, MR 降低的缘故. 另外, 与样品 1 相比较, 样品 2 的 MR 高, 考虑为由于非磁性体层与磁性体层的层数更多, 因此作为稳定的固定磁性层发生作用.

这样, 如果在把构成固定磁性层的磁性体层内, 从中间层一侧配置在第 m ($m=1, 2, \dots$) 个的磁性体层作为磁性体层 m , 把上述磁性体层 m 的平均饱和磁化 M_m 与平均膜厚 d_m 的积记为 $M_m \times d_m$, 则可知通过 m 是奇数的 $M_m \times d_m$ 的总和与是偶数的 $M_m \times d_m$ 的总和实质上相等, 能够实现高 MR.

另外, 对于样品 2, 作为被 CoFe 夹持的非磁性体层, 对 V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Re, Ru, Os, Rh, Ir, Cu, Ag 或 Au 调查了 MR 的变化. 热处理温度取为 $200 \sim 450^\circ\text{C}$. 元件尺寸取为 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$. 与样品 2

相同, 可以得到高 MR 的非磁性体层厚度是 0. 3nm ~ 2. 6nm 的范围. 另外, 伴随着热处理温度升高, 特别是在 0. 6nm 以下膜厚尺寸的样品中, MR 的降低显著. 作为非磁性体层, 即使是上述金属元素的合金或者以 50wt% 以上包含这些金属元素的合金或者化合物, 可以确认也具有相同的效果.

另外, 作为磁性体层的厚度是 0. 3nm ~ 10nm 时, 能够实现高 MR. 实施例 6

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件.

样品 1

10 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / CoFe (3) / Ru (0. 7) / CoFe (3) / Al₂O₃ (X) / CoFe (1) / NiFe (4) / Ta (3)

样品 2

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / CoFe (3) / Ru (0. 7) / Al₂O₃ (0. 25) / CoFe (3) / Al₂O₃ (X) / CoFe (1) / NiFe (4) / Ta (3)

15 样品 3

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / CoFe (3) / Ru (0. 35) / Al₂O₃ (0. 25) / Ru (0. 35) / CoFe (3) / Al₂O₃ (X) / CoFe (1) / NiFe (4) / Ta (3)

样品 4

20 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / CoFe (3) / RuAlO (0. 8) / Ru (0. 35) / CoFe (3) / Al₂O₃ (X) / CoFe (1) / NiFe (4) / Ta (3)

这里, 使用 CoFe 的饱和磁化是 2. 2T, NiFe 是 1T 的材料.

使用光刻法把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成为 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$, 形成层间绝缘膜后, 形成上部电极, 制做了具有图 1 所示剖面的垂直电流型磁阻元件. 另外, 作为样品 1 ~ 4 的中间层的 Al₂O₃ 的膜厚在各个元件面积中做成 RA 成为 $100 \Omega \mu\text{m}^2$ 左右.

25 微细加工后, 在 300℃ 以及 400℃ 中, 在 5kOe 的磁场中进行了 1. 5 小时热处理.

在 5000e 下测定了各个 MR 的结果示于 (表 4) .

【表 4】

温度 (℃)	样品 1 MR (%)	样品 2 MR (%)	样品 3 MR (%)	样品 4 MR (%)
300	48	43	35	30
400	2	15	13	11

如(表 4)所示, 在作为固定磁性层的非磁性体层使用了 Ru 的样品 1 中, 虽然在 300℃ 的热处理中示出了最高的 MR, 但是在 400℃ 的热处理后 MR 的降低最大. 这考虑为由于与其它的样品相比较, 固定磁场的恶化最大, 因此 CoFe 磁性体层与 Ru 的层构造由于热处理而紊乱, 或者引起相互扩散的缘故. 在其它的样品中, 在 400℃ 的热处理后固定磁场也很强. 样品 2~4 中的 400℃ 下的 MR 的降低考虑为包括作为本实施例样品中的中间层的 Al_2O_3 的氧化条件不充分的原因.

另外, 从其它的试验出发, 作为非磁性体层, 通过把从金属 X (X = Cu, Ag, Au, Ru, Rh, Ir, Re, Os) 和氧化物, 氮化物, 碳化物, 硼化物中选择出的 R (R = SiO_2 , SiC, Si_3N_4 , Al_2O_3 , AlN, Cr_2O_3 , Cr_2N , TiO, TiN, TiC, HfO_2 , HfN, HfC, Ta_2O_5 , TaN, TaC, BN, B_4C , 或者以上的混合物) 多层化为 2 层以上或者采用金属 X 与氧化物 R 的混合物, 也发现了耐热性的提高.

实施例 7

使用磁控管溅射法在单轴磁场中在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件.

样品 1

Ta (3) / Cu (500) / X (3) / CoFe (3) / Ru (0.7) / CoFe (3) / Fe_3O_4 (0.25) / Al_2O_3 (X) / Fe_3O_4 (0.25) / NiFe (4) / Ta (3)

样品 2

Ta (3) / Cu (500) / X (3) / Co (3) / Ru (0.7) / Co (3) / Fe_3O_4 (0.25) / Al_2O_3 (X) / Fe_3O_4 (0.25) / NiFe (4) / Ta (3)

这里, X 选择 Hf (bcc), Nb (bcc), Ta (bcc), Ru (hcp),

Pt (fcc), Cu (fcc), CoFe 选择成为 bcc 构造的组成.

使用光刻法把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成为 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$, 形成层间绝缘膜后, 形成上部电极, 制做了具有图 1 所示剖面的垂直电流型磁阻元件. 另外, 作为样品 1、2 中的中间层的 Al_2O_3 的膜厚 X 使得在各个元件面积中, RA 成为 $100 \Omega \mu\text{m}^2$ 左右. 测定了刚成膜后的 MR 的结果示于 (表 5).

【表 5】

X	结晶构造	样品 1 bcc MR (%)	样品 2 hcp MR (%)
Mn	bcc	3	2
Ag	fcc	3	5
Hf	bcc	15	10
Ta	bcc	15	11
Nb	bcc	13	8
Cr	bcc	15	16
Ru	hcp	7	13
Pt	fcc	7	14
Cu	fcc	8	21

其它试验的结果, 在固定磁性层是磁性体层与非磁性体层的多层膜的情况下, 作为基底层, 通过选择从 IVa ~ VIa, VIII 以及 Cu 中选择出的至少一种元素, 可知即使不使用反强磁性体材料, 也具有刚刚成膜后, 产生强反强磁性耦合的作用. 另外, 使用了这些基底的 MR 与使用 FeMn 的反强磁性体相比较, 可以确认直到高温下 MR 的恶化很少. 特别是, 该基底层和与该基底层连接的磁性体层是从 fcc 或者 fcp 构造中选择出的至少一种晶体构造或者每一种都是 bcc 构造, 由此特别加强固定层内的磁性体层之间的反强磁性耦合, 具有得到高 MR 的作用. 另外, 把这些样品与代替基底层使用了 FeMn 或者 IrMn 的样品在 $300 \sim 450^\circ\text{C}$ 的磁场中热处理后的 MR 比较的结果, 使用了本实施例的基底是垂直磁阻效应元件显示出高 MR.

实施例 8

使用磁控管溅射法在单轴磁场中在 Si 热氧化基板上制做了以下

的元件。

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / X (30) / CoFe (3) / Al₂O₃ (1) / NiFe (4) / Ta (3) / NiFe (4) / Ta (3)

这里，X 是 Cr 基的反强磁性体材料或者 Mn 基的反强磁性材料。

5 使用光刻法把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成为 $2 \times 2 \mu m^2$ ，形成层间绝缘膜后，形成上部电极，制做了具有图 1 所示剖面的垂直电流型磁阻元件。在 350℃ 的磁场中测定了热处理后的 MR 的结果示于（表 6）。

另外，关于分析了表中成分的部分也记为成分比。

10

15

20

25

30

【表 6】

反强磁性体	MR (%)
*IrMn	6
*FeMn	7
Cr ₈₀ Mn ₂₀	25
Cr ₅₀ Mn ₅₀	27
CrTc	10
*Cr _{99.5} Ru _{0.5}	3
Cr ₉₉ Ru ₁	20
Cr ₉₅ Ru ₅	25
Cr ₈₀ Ru ₂₀	24
*Cr ₇₅ Ru ₂₅	2
*Cr _{99.5} Rh _{0.5}	4
Cr ₉₉ Rh ₁	23
Cr ₉₀ Rh ₁₀	27
Cr ₈₀ Rh ₂₀	25
*Cr ₇₅ Rh ₂₅	7
*Cr _{99.5} Re _{0.5}	6
Cr ₉₉ Re ₁	14
Cr ₉₀ Re ₁₀	25
Cr ₈₀ Re ₂₀	17
*Cr ₇₅ Re ₂₅	5
CrOs	12
CrIr	19
Cr ₅₀ Pd ₅₀	12
CrPt	13
CrAg	11
Cr ₅₀ Au ₅₀	19
Cr ₉₅ A ₁₅	13
Cr ₇₆ A ₁₂₄	22
Cr ₇₀ A ₁₃₀	20
CrPtRu	18
CrPdRu	17
CrPtRe	16
CrPdRe	18
CrPtRh	15
CrPdRh	13

*非理想的例子

如(表6)所示,在反强磁性体层是从Mn, Tc, Ru, Rh, Re, Os, Ir, Pd, Pt, Ag, Au以及Al中选择出的至少一种合金时,可以得到出色的耐热性.从其它的实验可知,即使以10%以下作为限度包含上述成分以外的添加元素也具有相同的效果.

5 实施例9

使用磁控管溅射法在单轴磁场中在Si热氧化基板上制做了以下的元件.

样品1

10 Ta(3)/Cu(500)/Ta(3)/X(30)/CoFe(3)/Al₂O₃(1)/NiFe(4)/Ta(3)/NiFe(4)/Ta(3)

样品2

Ta(3)/Cu(500)/Ta(3)/NiFeCr(2)/X(30)/CoFe(3)/Al₂O₃(1)/NiFe(4)/Ta(3)/NiFe(4)/Ta(3)

样品3

15 Ta(3)/Cu(500)/Ta(3)/NiFeCr(2)/X(30)/Co(2)/CoFe(1)/Al₂O₃(1)/NiFe(4)/Ta(3)/NiFe(4)/Ta(3)

这里, X是Mn基的反强磁性材料.

20 使用光刻法把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成为 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$,形成层间绝缘后,形成上部电极,制做了具有图1所示剖面的垂直电流型磁阻元件.在5kOe的磁场中以350℃的热处理后的MR值的结果示于(表7).

另外,有关分析了表中成分的部分也记为成分比.

【表 7】

反强磁性体	样品 1 MR (%)	样品 2 MR (%)	样品 3 MR (%)
*IrMn	6	7	9
*FeMn	7	8	10
*Pt ₃₅ Mn ₆₅	1	1	1
Pt ₄₀ Mn ₆₀	18	24	25
Pt ₄₈ Mn ₅₂	26	29	31
Pt ₅₅ Mn ₄₅	17	19	22
*Pt ₆₀ Mn ₄₀	2	2	2
*Pd ₃₅ Mn ₆₅	1	1	1
Pd ₄₀ Mn ₆₀	11	14	15
Pd ₅₀ Mn ₅₀	16	18	20
Pd ₅₅ Mn ₄₅	12	15	16
*Pd ₆₀ Mn ₄₀	1	1	1
*(PtPd) ₃₅ Mn ₆₅	1	1	1
(PtPd) ₄₀ Mn ₆₀	15	17	21
(PtPd)Mn	23	26	29
(PtPd)Mn	16	18	20
*(PtPd)Mn	1	1	1

*非理想的例子

根据（表 7），在包含有 Pt 或 Pd 的反强磁性材料中，在特定的组成范围内，即使在 350℃ 的热处理温度中，也示出 IrMn, FeMn 以上的耐热性。另外，对于这些实施例的样品以 VSM 调查了磁化曲线的结果，在 450℃ 的热处理后，从 350℃ 开始固定磁场进一步上升，几乎没有发现固定磁性层的饱和磁化的减少。另一方面，在使用了 IrMn 或者 FeMn 的元件中，在 450℃ 的热处理后固定磁性层的磁化饱和显著减小，这考虑为是失去固定磁场，引起相互扩散的缘故。

作为样品 1 的基底，在使用了 NiFeCr 的样品 2 中，进一步提高耐热性。同样的效果在具有以 Cu 等为代表的 fcc 构造的基底层或者具有 hcp, hct 构造的基底层中也可以确认。X 射线折射的分析结果，通过设置实施例那样的基底，能够增强反强磁性膜的（111）面取向。另外在上述的实施例 8 中记述的 Cr 基反强磁性膜中，基底层成为 bcc 构造时，能够进一步提高耐热性。

进而，如样品 3 那样通过在反强磁性体中设置 Co 层，可知将进

进一步提高耐热性。这考虑为是 Co 与 CoFe 相比较难以引起相互扩散的缘故。

从以上可知，反强磁性体层以组成式 $Mn_{100-x}Me_x$ (Me 是从 Pd, Pt 中选择出的至少一种) 表示，在 $40 \leq x \leq 55$ (原子量%) 范围时可以得到最佳的耐热性。这可以考虑为与 IrMn, FeMn 相比较，由于贵金属含有量多的缘故。从其它的实验示出，在该组成中，进而以 10at % 为限度的含有量包含 Tc, Ru, Rh, Re, Os, Ir, Pd, Pt, Ag, Au, Al 等也示出出色的耐热性。

在基底层上形成反强磁性体层，当基底层和反强磁性体层是从 fcc 或者 fcp 构造选择出的至少一种晶体构造或者基底层和反强磁性体层都是 bcc 构造时，将提高耐热性。这考虑为反强磁性体层的结晶生长通过基底层促进，减少畸变，抑制构成反强磁性体的元素的扩散的缘故。

另外至少与反强磁性体连接的磁性体层是 Co 时，耐热性特别高。
实施例 10

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (30) / X (0.5) / CoFe (3) / Al₂O₃ (1) / CoFe (3) / Ta (3)

样品 2

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (30) / CoFe (1.5) / X (0.5) / CoFe (1.5) / Al₂O₃ (1) / CoFe (3) / Ta (3)

这里，X 是构成固定磁性层一部分的强磁性体。

使用光刻法把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成 $2 \times 2 \mu m^2$ ，形成层间绝缘膜，形成上部电极，制做具有图 1 所示剖面的垂直电流型磁阻元件。测定了在 350℃ 的磁场中热处理后的 MR 值的结果示于 (表 8)。

另外，有关分析了表中成分的部分也记为成分比。

【表 8】

	样品 1 MR (%)	样品 2 MR (%)
*CoFe	23	23
Fe ₃ O ₄	30	34
MnZnフェライト	32	33
FeAlO	36	38
FeTaN	32	34
FeHfN	32	35
FeTaC	33	36
FeHfC	33	36
CoFeB	37	38
CoTaZr	38	40
CoTaNb	33	35

*非理想的例子

从(表 8)可知, 至少反强磁性体层以及与非磁性体层的至少一方连接的磁性体层的至少一部分通过使用含有从氧、氮以及碳中选择出的至少一种元素的强磁性体, 将显著地提高耐热性。

这考虑为通过强磁性体层的至少一部分由氧化物、氮化物或者碳化物的比较热稳定的物质构成, 能够抑制基于热处理时的层间扩散的 MR 的恶化。该结构如本实施例那样, 磁性体层在其层内, 可以是含有
①金属强磁性体/含氧、氮或者碳的强磁性体/金属强磁性体这样的 3 层构造, ②含氧、氮或碳的强磁性体/金属强磁性体这样的 2 层构造, 或者进而③磁性体层全部含有氧、氮或者碳的强磁性体。

作为含氧的强磁性体, 除去本实施例的 Fe₃O₄, MnZn 铁素体以外, 即使是 NiZn 等铁素体材料为代表的尖晶石氧化物, 石榴石型氧化物或者 MFeO₃ 型氧化物等也确认具有效果。另外, 即使像本实施例的 FeAlO 那样的 TMO (T = Fe, Co, Ni; M = Al, Si, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mg) 等氧化物强磁性体也确认具有同样的效果。作为含氮的强磁性体, 除去本实施例的 FeTaN, FeHfN 以外, 使用 TN, TMN (这里, T, M 与上述相同) 氮化物强磁性体, 作为含碳的强磁性体, 除去本实施例的以外, 使用化物强磁性体, 也确认了同样的效果。

另外通过磁性体层的至少一部是非晶型强磁性体, 能够抑制热处

理时的层间扩散。作为非晶型材料虽然没有特别的限制，但是 Co(Fe) NbZr, Co(Fe) TaZr, CoFeB, Co(Fe) Ti, Co(Fe) Zr, Co(Fe) Nb, Co(Fe) MoBZr, Co(Fe) VZr, Co(Fe) MoSiZr, Co(Fe) MoZr, Co(Fe) MoVZr, 或者 Co(Fe) MnB 等可以确认高耐热性的效果。

5 实施例 11

通过磁控管溅射 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

Ta(3)/Cu(500)/Ta(3)/PtMn(da)/CoFe(df)/Al₂O₃(Y)
/ CoFe(1)/NiFe(5)/Ta(3)

10 把 df 以及 da 进行种种变化制做了的各个多层膜用光刻法微细加工成台面型使得元件面积成为 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ ，形成层间绝缘膜，形成上部电极，制做具有图 1 所示剖面的垂直电流型磁阻元件磁阻元件。测定了在 350℃ 的磁场中热处理后的 MR 值的结果示于(表 9)。另外 Al₂O₃ 的膜厚 Y 取为 $100 \Omega \mu\text{m}$ 左右的膜厚。

15

20

25

30

【表 9】（去除左边一列）

df (nm)	da (nm)	df/da	样品 1 MR(%)
*1	*3	0.33	6
2	*3	0.66	8
10	*3	3.3	7
50	*3	*17	6
*60	*3	*20	3
*1	5	0.2	9
2	5	0.4	18
10	5	2	13
50	5	*10	7
*60	5	*12	5
*1	10	0.1	9
2	10	0.2	24
10	10	1	32
50	10	5	21
*60	10	*6	9
*1	20	*0.03	8
2	20	0.1	23
10	20	0.5	29
50	20	2.5	19
*60	20	3	8
*1	100	*0.01	2
2	100	*0.02	4
10	100	0.1	17
50	100	0.5	21
*60	100	0.6	9
1	*200	*0.005	1
2	*200	*0.01	3
10	*200	*0.05	6
50	*200	0.25	9
*60	*200	0.3	7

*非理想的例子

- 把各个微细加工前的样品在 260℃, 350℃, 400℃, 450℃ 的磁场中热处理以后, 使用 VSM 调查了磁化曲线。总体上固定磁性层的厚度越厚, 反强磁性体的厚度越薄, 热处理后的固定磁场越强, 具有维持磁性体构造的倾向, 如果反强磁性体过薄, 则具有固定磁场减少的倾向。另外, 如果磁性体层的厚度过薄, 则可以看到固定磁场的减少。伴随着热处理温度上升, 虽然观察到热应力或者认为由中间层界面紊乱的抗磁力的增大, 但是固定磁场本身逐渐增强, 通过使用热处理温

度 350℃ ~ 400℃ 和高温处理,明显地具有反强磁性膜的固定磁场增大的效果。这一点在 MR 曲线中也被确认。

作为其一个例子,图 11 中示出在 260℃ 和 400℃ 下进行的热处理的 MR 曲线。

5 其中,样品形状是

Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) /PtMn (300) /CoFe (3) /Al₂O₃ (Y) /CoFe (3) /Ta (3)

虽然观测到认为是由于图中没有把中间层最佳化,或者 FeCo (3) /PtMn (30) 的比例是 0.1 比较小而引起的扩散影响的 MR 的降低,
10 但是在 400℃ 的热处理后,观察到明显的固定磁场的增大。另外,Al₂O₃ 的膜厚 Y 做成 RA 成为 100Ω μm 左右的膜厚。

在本实施例中,在最出色的样品中,在 450℃ 的热处理后也可以得到 15% 以上的 MR。由于 MR 值依赖于中间层的制造状态,因此实质上在本实施例的范围,即如果把固定磁性层的层厚度记为 df,反强磁
15 性体的厚度记为 da,则已知可以在

$2\text{nm} \leq df \leq 50\text{nm}$, $5\text{nm} \leq da \leq 100\text{nm}$, $0.1 \leq df/da \leq 5$ 的范围内,得到出色的耐热性。

另外在本实施例中作为反强磁性体使用了 PtMn,而在其它的反强磁性体中能够确认在 350℃ ~ 450℃ 下可以得到热稳定性的范围几乎
20 相同。

实施例 12

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

25 Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) /PtMn (20) /CoFe (6) /Al₂O₃ (1.8) /CoFe (1) /NiFe (5) /Ta (3)

样品 2

Ta (3) / (Cu (250) /Ta (3)) *2 /PtMn (20) /CoFe (6) /Al₂O₃ (1.8) /CoFe (1) /NiFe (5) /Ta (3)

样品 3

30 Ta (3) / (Cu (50) /Ta (3)) *10 /PtMn (20) /CoFe (6) /Al₂O₃ (1.8) /CoFe (1) /NiFe (5) /Ta (3)

(Cu (50) /Ta (3)) *10 指的是把 Cu (50) /Ta (3) 多层化 10

次。

使用光刻法把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成为 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ ，形成层间绝缘膜后，形成上部电极，制做具有图 1 所示剖面的垂直电流型磁阻元件。在 300°C ， 350°C ， 400°C ， 450°C 中的磁场中
5 热处理后的 MR 值示于（表 10）。

【表 10】

热处理温度 ($^\circ\text{C}$)	样品 1 MR (%)	样品 2 MR (%)	样品 3 MR (%)
300	45	46	47
350	25	32	37
400	12	20	25
450	8	15	20

10 根据（表 10），在 300°C 的热处理中样品 1~3 每一个都示出相同程度的 MR，而与此不同，伴随着热处理温度的上升，像样品 2 或者样品 3 那样基底电极被多层化了的一方 MR 的恶化少。

由于把同样的下部电极多层化而引起的热处理特性的提高这一点，除去 Cu 与 Ta 的组合以外，如果是从 Ag, Au, Al 以及 Cu 中选择
15 出的至少一种为主成分的高导电性金属层与从 IVa~VIa 族以及 VIII 族中选择出的至少一种为主成分的元素，或者从导电性氧化物，导电性氮化物以及导电性碳化物中选择出的晶粒生长抑制层的多层膜，也能够确认可以得到同样的效果。这些多层膜电极由于具有抑制热处理引起的电极的晶粒生长，减少层构造紊乱的功能，因此耐热性提高。另
20 外，作为高导电性金属层的厚度，从晶粒生长的抑制这一点出发，最好是 $5\text{nm} \sim 100\text{nm}$ 左右，作为晶粒生长抑制层最好是 $0.7\text{nm} \sim 5\text{nm}$ 左右。

在以上的实施例 1~12 中，记述了使用隧道磁阻效应的元件。该隧道磁阻效应在中间层是包含从氧、氮、碳以及硼中选择的至少一种
25 元素的绝缘体或者半导体时产生。作为具体的氧化物、氮化物、碳化物、硼化物或者半导体，可以举出 SiO_2 , SiC , Si_3N_4 , Al_2O_3 , AlN , Cr_2O_3 , TiC , HfO_2 , HfN , HfC , Ta_2O_5 , TaN , TaC , BN , B_4C , DLC , C_6O 等。在

这些中间层内, 即使以 20% 以下包括 Cu, Ag, Au, Pt, Pd, Rh, Ir, Ru 等元素, 只要是充分高电阻就可以得到同样的效果。作为中间层的形态, 既可以是绝缘物与导电物的多层构造, 也可以是导电元素被绝缘体覆盖的构造。

- 5 其次, 记述中间层是非绝缘体, 根据 GMR 效应显示磁阻效应的情况。

实施例 13

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

- 10 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (10) / Co (3) / Ru (0.7) / Co (3) / Cu (2.2) / Co (1) / NiFe (2) / Pt (7) / Ta (10)

样品 2

- 15 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (10) / Co (3) / Ru (0.7) / Co (3) / Cu (2.2) / Co (1) / NiFe (2) / Ta (3) / NiFe (4) / Ta (3)

样品 3

- Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (10) / Co (3) / Ru (0.7) / Co (3) / Cu (2.2) / Al₂O₃ (0.3) / Co (1) / NiFe (2) / Ta (3) / NiFe (4) / Ta (3)

20 样品 4

- Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (10) / Co (3) / Ru (0.7) / Co (3) / Cu (1.1) / Al₂O₃ (0.3) / Cu (1.1) / Co (1) / NiFe (2) / Ta (3) / NiFe (4) / Ta (3)

样品 5

- 25 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (10) / Co (3) / Ru (0.7) / Co (3) / CuAlO (2.2) / CoFe (1) / NiFe (2) / Ta (3) / NiFe (4) / Ta (3)

样品 6

- 30 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (10) / FeN (3) / Cr (0.7) / FeN (2) / CoFeB (1) / CuAlO (2.2) / CoFeB (1) / NiFe (2) / Ta (3) / NiFe (4) / Ta (3)

使用 EB 光刻法把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成

为 $0.1 \times 0.1 \mu\text{m}^2$ ，形成层间绝缘膜，形成上部电极，制做具有图 1 所示剖面的垂直电流型磁阻元件。另外，被微细化了元件的厚度每一个都相同。

磁场中热处理后的 MR 值和电阻值示于 (表 11)。

5

【表 11】

样品	阻值 (Ω)	MR (%)
1	0.6	2
2	0.5	10
3	1	12
4	1.1	15
5	0.8	12
6	1.5	8

从样品 1 和样品 2 可以看到通过自由磁性层成为本发明的结构，MR 上升。这考虑为根据本发明的自由磁性层磁畴构造变化，以及减少通过微细化增大了的反磁场的缘故。另外，像样品 3 以及样品 4 那样，通过做成作为高电阻的非磁性体层与迁移金属的多层膜，电阻增大，而且 MR 提高。同样的这一点即使在像样品 5 那样的高电阻非磁性体层和迁移金属的化合物中也可以看到。另外像样品 6 那样，通过把磁性体层做成高电阻的氮化物或者非晶型强磁性体，虽然 MR 稍有下降，但是可知电阻增大。

如以上那样，中间层的特征在于是从迁移金属中选择出的至少一种元素，或者从迁移金属和氧、氮或者碳中选择出的至少一种化合物导电材料，而且元件面积是 $0.01 \mu\text{m}^2$ 以下，能够制做高 MR，具有高电阻的利用了 GMR 效果的垂直电流型磁阻效应元件。

元件面积是 $0.01 \mu\text{m}^2$ 以下在为了提高元件电阻方面是必要的，而且由微细化引起的抗磁力的恶化通过上述的本发明的磁阻元件能够解决。

作为中间层，除去本实施例的 Cu 以外，使用在迁移金属中，特别是从 V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Cu, Ag, Au, Ru, Rh, Ir, Re 以及

Os 中选择出的至少一种也可以得到同样的效果。

另外, 通过使用 RuAlO 化合物或者 Ru/Al₂O₃/Ru, Ru/Al₂O₃ 的多层膜那样, 在这些元素失去了导电性的程度上进行氧化、氮化或者碳化的导电性化合物, 或者从迁移金属 X 和氧化物、氮化物、碳化物以及
5 硼化物中选择出的 R (R = SiO₂, SiC, Si₃N₄, Al₂O₃, AlN, Cr₂O₃, Cr₂N, TiO, TiN, TaC, HfO₂, HfN, HfC, Ta₂O₅, TaN, TaC, BN, B₄C, 或者以上的混合物) 的 XR 混合物, 或者像 X/R 那样 2 层以上的多层膜, 可以确认能够提高元件电阻或者提高耐热性。

另外, 作为夹持中间层的磁性体层, 除去本实施例的 CoFeB 以外,
10 通过至少一个磁性层的至少一部分是含有氧、氮或者碳的强磁性体, 或者非晶型强磁性体, 能够提高基于 CPP - GMR 效应的垂直电流型磁阻元件的元件电阻。具体地讲, 作为含氧的强磁性体, 在 Fe₃O₄、MnZn 铁素体, NiZn 铁素体等铁素体材料为代表的尖晶石型氧化物, 石榴石型氧化物或者 MFeO₃ 型氧化物等, 或者 TMO (T = Fe, Co, Ni; M = Al,
15 Si, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mg) 等氧化物强磁性体也可以发现同样的效果。作为含氮的强磁性体, 在 TN, TMN (这里, T, M 与上述相同) 等的氮化物强磁性体中可以看到同样的效果。作为含碳的强磁性体, 在 TMC (这里, T, M 与上述相同) 等中可以看到同样的效果。作为非晶型材料, 在 Co (Fe) NbZr, Co (Fe) TaZr, CoFeB, Co (Fe)
20 Ti, Co (Fe) Zr, Co (Fe) Nb, Co (Fe) MoBZr, Co (Fe) VZr, Co (Fe) MoSiZr, Co (Fe) MoZr, Co (Fe) MoVZr, Co (Fe) MnB 等中可以确认同样的效果。

实施例 14

在 MOS 基板上, 使用磁控管溅射实施下部电极布线, 在加入了 CMP
25 的 MOS 的基板上制做了以下的多层膜。

样品 1

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFe (1) / FeCo (1) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (10) / PtMn (20) / Ta (3)

样品 2

30 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFe (2) / Ta (3) / NiFe (1) / FeCo (1) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (10) / PtMn (20) / Ta (3)

样品 3

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFe (3) / Ru (0.7) / FeCo (1)
/ Al₂O₃ (Y) / CoFe (10) / PtMn (20) / Ta (3)

使用溅射法把各个膜的元件形状进行台面型加工, 使得成为以 a
5 为长轴, b 为短轴的大致椭圆形 (图 12B), 在各个多层膜中, 制做
a/b 成为 1, 1. 5, 5, 10, 12 比例的元件. 另外, 所有 a 的长度取
为 1000nm, 元件的字线以及读出线的宽度做成 2000nm. 微细加工后,
形成上部布线, 进行了 400℃ 的氢烧结以后, 做成图 12A 所示存储区
元件. 把该存储器在 240℃ 的真空中, 加入 10kOe 的磁场, 决定固定
10 磁性层的磁化方向. 另外, Al₂O₃ 的膜厚 Y 做成 RA 成为 1kΩ μm 左右的
膜厚.

在 MOS 是 OFF 的状态下, 在字线以及读出线中流过电流, 根据所
发生的交叉磁场在自由磁性层中进行写入. 其次, 在 MOS 是 ON 的状
态下, 在各个元件中流过读出电流, 把自由磁性层对于固定磁性层,
15 磁化是平行时和反平行时的输出进行比较. 对于功耗 (表 12) 以及输
出值 (表 13) 分别示出把在各个元件中所需要的写入功耗和输出值进
行了归一化的.

【表 12】

a/b	样品 1	样品 2	样品 3
1	1	0.01	0.04
1.5	1.4	0.08	0.3
5	1.7	2	2.3
10	14.6	8.6	9.2
12	19.6	12	13

20

25

【表 13】

a/b	样品 1	样品 2	样品 3
1	1	1.2	1.1
1.5	1.1	1.3	1.2
5	1.2	1.5	1.4
10	1.3	1.4	1.2
12	0.9	1.1	1

从(表 12)以及(表 13)可知, 在本实施例的样品 2 以及样品 3 中, 可以同时得到低功耗和高输出. 另外, 元件形状在 a/b 是 1.5 $< a/b < 10$ 时可以得到最高的输出.

实施形态 15

在 AlTiC 基板上形成了磁传感器(图 13).

样品 1

下部屏蔽层 301/磁分离层 302/PtMn (20) /CoFe (3) /Ru (0.7) /CoFe (3) /Al₂O₃ (1.5) /CoFe (1) /NiFe (3)

样品 2

下部屏蔽层 301/磁分离层 302/PtMn (20) /CoFe (3) /Ru (0.7) /CoFe (3) /Al₂O₃ (1.5) /CoFe (1) /NiFe (3) NiFe (4) /Ta (3) /NiFe (4) /磁分离层 312/上部屏蔽层 311

样品 3

下部屏蔽层 301/磁分离层 302/PtMn (20) /CoFe (3) /Ru (0.7) /CoFe (3) /Al₂O₃ (1.5) /CoFe (1) /NiFe (3) NiFe (5) /Ru (0.7) /NiFe (3) /磁分离层 312/上部屏蔽层 311

这里, NiFe/Ta/NiFe 以及 NiFe/ Ru /NiFe 相当于(图 13)的磁通导向体 310. PtMn 是反强磁性层, CoFe/Ru/CoFe 是固定磁性层 307, Al₂O₃ 是非磁性体层 306, CoFe/NiFe 是自由磁性层 305. 把这些层与绝缘层 303 一起形成. 热处理在沿着磁通导向体方向以 280℃, 1.5 小时, 5kOe 进行了以后, 与磁通导向体垂直地(垂直于图 13 的纸面), 在 1800℃, 1.5 小时, 5kOe 的磁场中进行.

把使用 3 种传感器, 记录道密度为 90kTPI (磁道/每英寸), 线记录密度为 550kBPI (位/每英寸) 所记录的 HDD 记录媒体以数据传

送速度 211M/比特秒进行了再生试验。记录头的上浮量为 20nm。记录头的误码率在样品 1 是 1×10^{-7} ，样品 2 是 1×10^{-8} ，样品 3 是 $1 \times 10^{-8.5}$ 。

如以上的实施例那样，使用了本发明的自由磁性层的磁传感器能够 5 够实现高 BER。

实施例 16

使用磁控管溅射法在单轴磁场中在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

10 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (15) / CoFe (2) / Ru (0.7) / CoFe (2) / Al₂O₃ (2) / CoFe (1) / NiFe (1) / Ta (3)

样品 2

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFe (4) / PtMn (15) / CoFe (2) / Ru (0.7) / CoFe (2) / Al₂O₃ (2) / CoFe (1) / NiFe (1) / Ta (3)

15 样品 3

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (2) / Ru (0.7) / CoFe (2) / Al₂O₃ (2) / CoFe (1) / NiFe (1) / Ta (3)

样品 4

20 Ta (3) / (Cu (5) / Ta (1)) *100/ NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (2) / Ru (0.7) / CoFe (2) / Al₂O₃ (2) / CoFe (1) / NiFe (1) / Ta (3)

样品 5

25 Ta (3) / Cu (500) / NiFe (1) / CoFe (1) / Al₂O₃ (2) / CoFe (3) / Ru (0.7) / Co₃₀Fe₇₀ / PtMn (15) / Ta (3)

样品 6

Ta (3) / Cu (500) / NiFe (1) / CoFe (1) / Al₂O₃ (2) / CoFe (3) / Ru (0.7) / Co₅₀Fe₅₀ (3) / PtMn (15) / Ta (3)

样品 7

30 Ta (3) / Cu (500) / NiFe (1) / CoFe (1) / Al₂O₃ (2) / CoFe (3) / Ru (0.7) / Co₉₀Fe₁₀ (3) / PtMn (15) / Ta (3)

样品 8

Ta (3) / Cu (500) / NiFe (1) / CoFe (1) / Al₂O₃ (2) / CoFe (3) / Ru (0.7) / Co₉₀Fe₁₀ (1) / NiFe (2) / PtMn (15) / Ta (3)

使用光刻法, 把各个多层膜微细加工成台面型使得元件面积成为
5 $2 \times 6 \mu\text{m}^2$, 形成层间绝缘膜, 形成上部电极, 制做具有图 1 或者图 7 所示剖面的垂直电流型磁阻元件. 测定了在 5kOe 磁场中以 300 - 400 °C 的热处理以后的 MR 值的结果示于 (表 14) .

另外, 在样品 1 - 8 中, 记录为 CoFe 的部分是 Co₇₆Fe₂₄ 成分.

10 【表 14】

样品	MR (%) 300°C	MR (%) 350°C	MR (%) 400°C
1	48	22	9
2	49	48	39
3	50	48	43
4	50	49	46
5	45	18	6
6	44	28	8
7	47	35	30
8	43	38	35

从 (表 14) 可知, 把膜下部分作为固定磁性层的样品 1-4 中, 与样品 1 相比较, 使用了 NiFe 或者 NiFeCr 基底的样品 2 以及样品 3 的
15 耐热性出色. 另外在把样品 3 的基底电极多层化了的样品 4 中, 可以确认耐热性进一步提高. 另一方面, 在把膜上部分作为固定磁性层的样品 5-8 中, 随着 PtMn 下部分的 CoFe 成分 Co 丰富, 或者成为 NiFe, 可以见到耐热性的提高.

另外, 通过 X 射线折射可知, 伴随着 Co 的增加, 从 bcc 向 fpt
20 或者 fcc 构造变化. 另外, 本实施例的高耐热性比其它的实施例更为出色, 不仅是构造的最佳化, 而且还依赖于 Al₂O₃ 层的最佳制做.

把 PtMn 替换为 PtPdMn 的情况下, 也同样确认了出色的高耐热性.

另外这时理想的组成是反强磁性体层用 Mn_{100-x}Me_x (Me 是从 Pd,

Pt 中选择出的至少一种)表示, 并且是 $40 \leq X \leq 55$ (原子量%) 的范围.

实施例 17

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件.

5 样品 1

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFe (5) / Ta (3) / NiFe (5) / Al₂O₃ (0.9) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

样品 2

10 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFe (5) / Ru (0.9) / NiFe (5) / Al₂O₃ (0.9) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

样品 3

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFe (5) / Ta (3) / NiFe (9) / Al₂O₃ (0.9) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

样品 4

15 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFe (5) / Ru (0.9) / NiFe (9) / Al₂O₃ (0.9) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

样品 5

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / CoFe (4) / Ta (3) / NiFe (9) / Al₂O₃ (0.9) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

20 样品 6

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / CoFe (4) / Ru (0.9) / NiFe (9) / Al₂O₃ (0.9) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

25 构成样品 5 和样品 6 的自由磁性层的 CoFe (4) 以及 NiFe (9) 把膜厚 \times 饱和磁化取为几乎相等的值. 另外, 样品 1, 3, 5 的各个自由磁性层主要通过作为非磁性体层的 Ta (3) 进行静磁耦合, 样品 2, 4, 6 主要是通过 Ru (0.9) 进行反强磁性耦合的样品.

30 把这些多层膜在 5kOe 磁场中, 在 280℃ 下进行热处理, 使用 EB 和光刻法微细加工成台面型使得元件面积成为 0.1×0.3 , 0.3×0.3 以及 $1 \times 3 \mu\text{m}^2$. 这里, 进行加工使得元件的长度方向和热处理方向平行. 形成层间绝缘膜, 形成上部电极, 制做具有图 1 或者图 7 所示剖面的垂直电流型磁阻元件.

首先, 对于元件形状是 $1 \times 3 \mu\text{m}^2$ 的元件进行了调查. 各个样品加

入 ± 200 Oe 时的 MR 在样品 2 为 5% 左右, 其它任一种都是 30% 左右。其次, 加入 200 Oe 的外部磁场, 使得沿着元件的长度方向在自由磁性层进行磁化方向的存储。为了调查样品 1 以及样品 3-6 的元件的存储稳定性, 进行了在 250℃, 1 小时的热稳定性实验以及大约 50e 的旋转磁场中的外磁场稳定性试验。其结果, 在样品 3-6 中, 在各个实验以后都没有发现阻值发生变化。另一方面, 在样品 1 中, 观察到元件电阻的减少。由此可知, 在样品 3-6 的结构中, 能够在自由磁性层上沿着磁化方向稳定地存储。

在 $0.1 \times 0.3 \mu\text{m}^2$ 的元件中进行了同样条件的实验, 其结果, 在样品 3 以及 4 中, 由于反转磁场增大, 因此不能够充分地进行 200 Oe 下的磁化反转。另一方面, 在样品 5 以及样品 6 中, 能够确认与 $1 \times 3 \mu\text{m}^2$ 相同的存储稳定性。

对于 $0.3 \times 0.3 \mu\text{m}^2$ 的元件进行了同样条件的试验, 其结果, 在样品 3-6 的每一个中虽然可以进行磁化反转, 但是能够确认存储稳定性的样品仅是样品 5 以及 6。

从以上可知, 通过自由磁性层是膜厚 \times 饱和磁化不同的磁性体层与非磁性体的多层膜, 或者膜厚 \times 饱和磁化相等时矫顽磁力不同, 能够具有存储效果, 特别是, 在膜厚 \times 饱和磁化相等的元件中, 存储效果对于元件尺寸以及形状的依赖性小。

20 实施例 18

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (30) / CoFe (3) / Ru (0.7) / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / NiFe (5) / Ru (0.7) / NiFe (3) / Ta (3)

25 样品 2

Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / PtMn (30) / CoFe (3) / Ru (0.7) / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / NiFe (3) / Ru (0.7) / NiFe (3) / Ta (3)

另外, Al₂O₃ 的膜厚 Y 做成 RA 成为 $100 \Omega \mu\text{m}$ 左右的膜厚。把各个多层膜在 5kOe 磁场中, 在 240℃ 下进行热处理, 使用光刻法微细加工成台面型使得元件面积成为 $3 \times 3 \mu\text{m}^2$ 。形成层间绝缘膜, 形上部电极, 制做具有图 1 以及图 7 所示剖面的垂直电流型磁阻元件。图 14 是示出样品 1 以及样品 2 的 MR 曲线以及作为自由磁性层的

NiFe/Ru/NiFe 层的磁化状态。可知样品 1, 样品 2 都是膜厚比厚的磁性层对于外部磁场进行响应。另外样品 1, 样品 2 都与通常的电子管型元件 TMR 不同, 对于外部磁场可以观察到磁阻的最大值, 特别是, 自由磁性层内, 接近于中间层的磁性体层薄的样品 2 中示出显著的极大值。在样品 1, 样品 2 的每一个中, 沿着正方向增加外部磁场时, 自由磁性层内的磁化状态进行 $b' \rightarrow c'$ 或 $b \rightarrow c$ 的变化, 这些由于是伴随着自旋双稳的磁化过程, 因此在去除了外部磁场时是可逆的, 并不丢失最初的自由磁性层的磁化状态。另外, 在该过程中特别是在样品 2 中, MR 很大地变化。如果利用这一点, 采用类似于样品 2 的结构, 则通过测定对于外部磁场变化的磁阻值, 能够不破坏磁化状态, 读取磁化状态。

另外, 所谓类似样品 2 的结构, 指的是至少一层自由磁性层由中间层一侧开始, 由第 1 磁性体层, 第 1 非磁性体层, 第 2 磁性体层的至少 3 层构成, 如果把上述第 1 磁性体层的平均膜厚记为 d_1 , 平均饱和磁化记为 M_1 , 把上述第 2 磁性体层的平均膜厚记为 d_2 , 平均饱和磁化记为 M_2 , 则 $M_2 \times d_2 > M_1 \times d_1$, 对于外部磁场的变化, 指的是磁阻值至少能够取得一个极大值或者极小值的磁阻元件。

实施例 19

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

20 Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) /PtMn (15) /CoFe (3) /Ru (0.7) /CoFe (3) /Al₂O₃ (Y) /NiFe (4) /Ru (0.9) /NiFe (4) /Ru (0.9) /NiFe (7) /Ta (3)

另外, Al₂O₃ 的膜厚 Y 做成 RA 成为 $100 \Omega \mu\text{m}$ 左右的膜厚。把该多层膜在 5kOe 的磁场中, 在 280℃ 下进行热处理, 使用 EB 和光刻法微细加工成台面型使得元件面积成为 $0.5 \times 1.5 \mu\text{m}^2$ 。形成层间绝缘膜, 形成上部电极, 制做具有图 1 或者图 7 所示剖面的垂直电流型磁阻元件。把该元件沿着长度方向加入 500 Oe 的磁场, 使最上层的 NiFe (7) 磁化反转以后, 去除磁场, 加入 ± 100 Oe 的外部磁场时的磁化层的磁化状态示于图 15 的模式图中。图 15 中, 固定磁性层 401 中仅记述了最接近中间层 402 的从 CoFe 开始以上的结构。图 15 中, B 是磁化稳定状态, 在加入了第 2 非磁性体层 406 上第 3 磁性体层 (存储层 407) 的磁化反转磁场以下的外部磁场时, 将产生 A 或者 C 那样磁化

状态的变化。另外，在该图为了动作说明的简单，没有示出自旋双稳状态。由于第1磁性体层403与第2磁性体层405经过非磁性体层404进行反强磁性耦合，因此如果比部磁场比较小则返回到原来的B的状态。这时，磁阻的变化以B→A的变化增加到最大。另外图16中示出使磁性层407的磁化状态反转时的状况。图16中磁化稳定状态是B，能够确认在B→A的变化下磁阻的显著减小。

利用该原理，能够进行本实施例的磁阻元件的存储状态的检测。图17中示出元件结构。

在形成CMOS和下部布线的基板上形成了与前面结构顺序相反地成膜了的多层膜。把该多层膜在5kOe的磁场中，在280℃下进行热处理，使用EB和光刻法微细加工成台面型使得元件面积成为 $0.5 \times 1.5 \mu\text{m}^2$ ，形成层间绝缘膜后，形成上部电极，形成图17A、B所示的MRAN元件。

通过使用字线和位线上电流一致写入，在第3磁性体层中存储磁化状态。读入时，把与元件串联连接的CMOS的开关置为ON，流过读出电流。这时，通过在字线中流过读出写入电流，发生读取磁场，读取元件之间加入的电压的变化。图17B中由于读取磁场与中间层的磁化方向一致，因此几乎看不到对于读取磁场的电压变化，显示出能够判别磁化是与固定磁场磁性层的磁化方向平行的状态。

如以上那样，通过把自由磁性层多层化，可知能够制造在非破坏下可以读取存储器的磁化状态的MRAM元件。

实施例20

使用磁控管溅射法在Si热氧化基板上制做了以下的元件。

样品1

Ta(3)/Cu(50)/Ta(3)/PtMn(15)/CoFe(3)/Ru(0.9)/CoFe(3)/Al₂O₃(Y)/NiFe(4)/Al₂O₃(Y)/CoFe(3)/Ru(0.9)/CoFe(3)/PtMn(15)/Ta(3)

样品2

Ta(3)/Cu(50)/Ta(3)/PtMn(15)/CoFe(3)/Ru(0.9)/CoFe(3)/Al₂O₃(Y)/NiFe(2)/Al₂O₃(Y)/CoFe(3)/Ru(0.9)/CoFe(3)/PtMn(15)/Ta(3)

样品 3

Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /PtMn (15) /CoFe (3) /Ru (0.9)
/CoFe (3) /Al₂O₃ (Y) /NiFe (3) /Ta (3) /NiFe (5) /Al₂O₃ (Y)
/CoFe (3) /PtMn (15) /Ta (3)

5 样品 4

Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /PtMn (15) /CoFe (3) /Ru (0.9)
/CoFe (3) /Al₂O₃ (Y) /NiFe (3) /Ta (3) /NiFe (5) /Al₂O₃ (Y)
/CoFe (3) /Ru (0.9) /CoFe (3) /PtMn (15) /Ta (3)

样品 5

10 Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /PtMn (15) /CoFe (3) /Ru (0.9)
/CoFe (3) /Al₂O₃ (Y) /NiFe (3) /Ru (0.9) /NiFe (5) /Al₂O₃ (Y)
/CoFe (3) /PtMn (15) /Ta (3)

样品 6

15 Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /PtMn (15) /CoFe (3) /Ru (0.9)
/CoFe (4) /Ru (0.9) /CoFe (2) /Al₂O₃ (Y) /NiFe (3) /Ru (0.9)
/NiFe (5) /Al₂O₃ (Y) /CoFe (3) /Ru (0.9) /CoFe (3) /PtMn (15)
/Ta (3)

另外, Al₂O₃ 的膜厚 Y 做成 RA 成为 300Ω μm 左右的膜厚. 把该多层膜在 5kOe 的磁场中, 在 280℃ 下进行热处理, 使用 EB 和光刻法微
20 细加工成台面型使得元件面积成为 0.1 × 0.3 μm². 形成层间绝缘膜, 形成上部电极, 做成具有 2 个中间层的垂直电流型磁阻元件. 沿着这些元件的长度方向加入磁场测定了 MR 的结果, 除去样品 2 以外, 所有的元件在最佳磁场下得到 30% 左右的磁阻变化. 在样品 2 中由于 NiFe 层比较薄因此不能够得到充分的柔性, 磁阻变化是 10% 左右.
25 元件的矫顽磁力除去样品 2, 样品 1 最高, 与其它元件相比较考虑为是反磁场的影响高的缘故. 另外, 样品 1 的 MR 曲线的非对称性最大. 还有, 在样品 3-样品 5 中, 形成固定磁性层的磁性体层内的层数对于中间层设置成非对称是因为外部磁场比较弱时构成自由磁性层的 2 个磁性体层相互反平行的原因. 在加入了充分大的外部磁场时, 这些固定自由磁性层也可以是对称的结构. 另外, 在样品 3 的结构中, 如果外部磁场适当增强则 MR 值几乎减到一半, 在样品 4 的结构中, 如果外部磁场适当增强则 MR 值几乎增加一倍.
30

在以上的实施例中，示出了自由磁性层具有被 2 层中间层夹持的结构，自由磁性层是 2 层磁性体层与 1 层非磁性体层交互叠层的结构，而在自由磁性层具有把 $2n$ ($n=1, 2, \dots$) 层的磁性体层与 $(2n-1)$ 层的非磁性体层交互叠层了的结构的情况下也可以得到同样的效果。

实施例 21

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9)
10 / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / NiFe (3) / Ta (3) / NiFe (3) / Ta (3) / NiFe
(3) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta
(3)

样品 2

Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9)
15 / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / NiFe (3) / Ru (0.9) / NiFe (3) / Ru (0.9)
/ NiFe (3) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15)
/ Ta (3)

样品 3

Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9)
20 / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / NiFe (3) / Ru (0.9) / NiFe (5) / Ru (0.9)
/ NiFe (3) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15)
/ Ta (3)

样品 4

Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9)
25 / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / NiFe (3) / Ru (0.9) / NiFe (6) / Ru (0.9)
/ NiFe (3) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15)
/ Ta (3)

样品 5

Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9)
30 / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / NiFe (3) / Ru (0.9) / NiFe (7) / Ru (0.9)
/ NiFe (3) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15)
/ Ta (3)

样品 6

Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /PtMn (15) /CoFe (3) /Ru (0.9) /CoFe (3) /Al₂O₃ (Y) /NiFe (4) /Al₂O₃ (Y) /CoFe (3) /Ru (0.9) /CoFe (3) /PtMn (15) /Ta (3)

5 另外, Al₂O₃ 的膜厚 Y 做成 RA 成为 300Ω μm 左右的膜厚. 把这样的多层膜 5kOe 的磁场中, 在 280℃ 下进行热处理, 使用 EB 和光刻法微细加工成台面型使得元件面积成为 0.1 × 0.3 μm². 形成层间绝缘膜, 形成上部电极, 制做具有 2 个中间层的垂直电流型磁阻元件. 沿着这些元件的长度方向加入磁场测定了 MR 的结果, 所有的元件在最佳磁场中得到 30% 左右的磁阻变化. 其中, 在样品 3 中, 在低磁场下 MR 的上升减小, 在样品 6 中抗磁力最大. 另外, 在样品 2 中, 得到类似于图 14 的左图, 另外在样品 4 以及样品 5 中得到类似于图 15 的右图的 MR 曲线. 把样品 3 与样品 4 比较时, 样品 3 的自由磁性层结构是 NiFe (3) /Ru (0.9) /NiFe (5) /Ru (0.9) /NiFe (3), 另外样品 4 的自由磁性层的结构是 NiFe (3) /Ru (0.9) /NiFe (6) /Ru (0.9) /NiFe (3). 如果各个磁性体层完全进行反强磁性耦合, 则从结构出发在样品 4 中在自由磁性层中进行完全的磁闭锁, 对于低磁区的外部磁场的响应差. 但是, 使用 VSM 测定了把基底取为 Al₂O₃ 以及 Ru, 改变了膜厚的 NiFe 的实效饱和磁化 (到达测定 MR 磁场电平的饱和磁化) 的结果, 了解到 NiFe 的膜厚越薄, 实效的饱和磁化越小. 根据该实效的饱和磁化, 如果把样品 3 与样品 4 的膜厚 × 饱和磁化进行比较, 则在样品 3 中, 第 1 层与第 3 层的膜厚 × 饱和磁化的值之和几乎与第 2 层的膜厚 × 饱和磁化相等, 另一方面在样品 4 中, 与第 1 层和第 3 层的和相比较, 第 2 层的值大. 从以上认识出发, 可知考虑把基底与磁性层膜厚考虑在内的实效的饱和磁化等的膜结构是重要的.

在以上的实施例中, 叙述了按照第 1 固定磁性层, 第 1 中间层, 第 1 磁性体层, 第 1 非磁性体层, 第 2 磁性体层, 第 2 非磁性体层, 第 3 磁性体层, 第 2 中间层, 第 2 固定磁性层的顺序形成的结构的磁阻元件, 其中, 如果把磁性体层 n 的平均膜厚记为 d_n, 把平均饱和磁化记为 M_n (n = 1, 2, 3), 则 M₃ × d₃ + M₁ × d₁ ≠ M₂ × d₂ 的, 而自由磁性层如果是具有 (2n + 1) 层 (N = 1, 2, ...) 的磁性体层与 2n 层的非磁性体层交互叠层了的结构时也具有同样的效果.

实施例 22

使用磁控管溅射法在 6 英寸大小的 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

5 Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (3) / Ru (0.7) / CoFe (5) / Ta (3)

样品 2

Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (3) / Ru (0.7) / CoFe (7) / Ta (3)

10 另外, Al₂O₃ 的膜厚 Y 做成 RA 成为 $1\text{k}\Omega\ \mu\text{m}$ 左右的膜厚。另外这里 Ru 基底上的 CoFe (5) 与 NiFe (7) 各个的磁化饱和 \times 膜厚几乎相同。把该多层膜在 10kOe 的磁场中以 280°C 进行热处理, 使用 I 线分挡器微细加工成台面型使得元件面积成为 $0.2 \times 0.6\ \mu\text{m}^2$ 。形成层间绝缘膜, 形成上部电极, 制做垂直电流型磁阻元件。把这些元件遍布 6
15 英寸晶片总体测定了 MR 的结果, 样品 1 中的抗磁力的分散性为 10% 左右, 样品 2 中的抗磁力的分散性为 5% 左右。6 英寸晶片内的 CoFe, NiFe 的膜厚分布每种都是 3% 左右, 不能够简单地说明上述的分散性。作为抗磁力的分散性原因之一, 考虑为实效饱和磁化的膜厚依赖性。实际上, 分别改变 Ru 基底上 CoFe 和 NiFe 的膜厚, 求实效的饱和磁化的结果, 5nm 的 CoFe 薄膜的膜厚变化 1nm 时实效的饱和磁化的变化是 20%, NiFe 的情况下是 5%。另外, 同样对于膜厚的 CoFe 单层以及 NiFe 单层的矫顽磁力的变动在 CoFe 时为 15% 左右, NiFe 时为 2%。从以上可以说, 为了抑制大面积时的抗磁力的分散性, 在具有
20 多层构造的自由磁性层中使用饱和磁化不同的磁性体层, 或者矫顽磁力不同的磁性体层是有效的。
25

实施例 23

使用磁控管溅射法在 6 英寸尺寸的 Si 热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

30 Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / PtMn (15) / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (5) / Ru (0.9) / NiFe (5) / Ta (3)

样品 2

Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /PtMn (15) /CoFe (3) /Ru (0.9)
/ CoFe (3) /Al₂O₃ (Y) /CoFe (5) /Ru (0.9) /NiFe (5) /Ta (3)

样品 3

5 Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /PtMn (15) /CoFe (2) /Ru (0.9)
/ CoFe (3.5) /Ru (0.9) /CoFe (2) /Al₂O₃ (Y) /CoFe (3) /Ru (0.9)
/NiFe (5) /Ta (3)

另外, Al₂O₃的膜厚 Y 做成 RA 成为 $1\text{k}\Omega\ \mu\text{m}$ 左右的膜厚. 把这些
多层膜在 10kOe 的磁场中以 280℃ 进行热处理, 使用光刻法微细加工
10 成台面型使得元件面积成为 $0.2 \times 0.6\ \mu\text{m}^2$. 形成层间绝缘膜, 形成
上部电极, 制做垂直电流型磁阻元件. 对于热处理方向使得外部磁场
加入方向成为恒定, 测定各个元件的 MR. 样品 1 以及样品 3 每一个都
相同, 加入磁场的正负与获得 MR 的最大值以及最小值的方向一致,
在样品 2 中示出与它们相反的磁场特性. 把样品 1 以及样品 2, 或者
15 样品 2 与样品 3 组合起来, 如图 10 所示那样, 测定了 2 个元件的动
作输出的结果, 在样品 1 与样品 3 的组合中, 在低磁场区, 输出电压
成为非对称. 这考虑为由于在样品 1 中固定磁性层不是叠层铁构造,
因此将产生非对称成分. 从而, 为了得到在磁头或者 MRAM 等所希望
的对称性出色的动作输出, 把固定磁性层从中间层一侧把 2n 层的磁
20 性体层与 (2n-1) 层的非磁性体层交互叠层了的磁阻元件, 与固定磁
性层从中间层一侧把 (2n+1) 层的磁性体层与 2n 的非磁性体层交互
叠层了的磁阻元件组合起来可以说是非常重要的.

实施例 24

使用磁控管溅射法在 CMOS 基板上制做了以下的元件.

25 样品 1

Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /PtMn (15) /CoFe (3) /Al₂O₃ (Y)
/CoFe (5) /Ta (3) /CoFe (3)

样品 2

30 Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /NiFeCr (4) /PtMn (15) /CoFe (3)
/Al₂O₃ (Y) /CoFe (5) /Ta (3) /CoFe (3)

另外, Al₂O₃的膜厚 Y 做成 RA 成为 $1\text{k}\Omega\ \mu\text{m}$ 左右的膜厚. 把这些
多层膜在 10kOe 的磁场中以 260℃ 进行热处理, 使用光刻法微细加工

成台面型使得元件面积成为 $0.2 \times 0.6 \mu\text{m}^2$ 。形成层间绝缘膜，形成上部电极，制做垂直电流型磁阻元件。测定它们的 MR 以后，接着在 5% 的氢气气氛中在无磁场条件下，进行 400°C ，30 分钟的热处理以后，测定 MR。

在样品 1 中，刚刚完成元件加工后的 MR 是 30%，在 400°C 的第 1 次热处理中减少到 12%，在 400°C 的第 2 次热处理中降低到 10% 左右。另一方面，在样品 2 中，在刚刚加工完元件后的 RM 是 30%，在 400°C 的第 1 次热处理中减少到 20%，在 400°C 的第 2 次热处理中降低到 19% 左右。在固定磁场层的单轴各向异性形成热处理以后，还与在高温下无磁场中的热处理无关，每种样品都显示出出色的耐热性。另外特别是在反强磁性体的基层层中使用了 NiFeCr 的样品 2 中，MR 恶化少。进行了各种样品调查的结果，在还原气氛而且无磁场中热处理下的耐热性是 450°C 左右。另外，调查了元件的布线电阻的结果，在通常的磁场中热处理以后，通过实施氢气气氛中的再次热处理，能够显著地降低布线电阻。

15 实施例 25

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上从基板一侧制做了以下的元件。

样品 1

20 Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Al (0.4) - O / Al (0.3) - O / NiFe (5) / Ru (0.9) / NiFe (3) / Ta (3)

样品 2

25 Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Al (0.4) - O / Al (0.35) - O / NiFe (5) / Ru (0.9) / NiFe (3) / Ta (3)

样品 3

30 Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Al (0.4) - O / Al (0.3) - O / NiFe (5) / Ru (0.9) / NiFe (6) / Ru (0.9) / NiFe (5) / Al (0.4) - O / Al (0.3) - O / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

样品 4

Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (3)

010007

/Ru (0.9) /CoFe (3) /Al (0.4) -O/Al (0.3) -O./NiFe (5) /Ru
 (0.9) /NiFe (3) / Cu(5)/NiFe(3)/Ru (0.9) /CoFe (5) /Al (0.4)
 -O/A l (0.3) -O./CoFe (3) / Ru (0.9) /CoFe (3) /PtMn (15)
 /Ta (3)

5 样品 5

Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /NiFeCr (4) /PtMn (15) /CoFe (3)
 /Ru (0.9) /CoFe (3) /Al (0.4) -O/Al (0.3) -O./NiFe (5) /Ru
 (0.9) /NiFe (3) / Cu(5)/NiFe(5)/ Ru (0.9) /NiFe (3) /Al (0.4)
 -O/A l (0.3) -O./NiFe (3) / Ru (0.9) /CoFe (3) /PtMn (15)
 10 /Ta (3)

在此 CoFe 采用 $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$, NiFe 采用 $\text{Ni}_{60}\text{Fe}_{40}$. 另外, NiFeCr 采用 $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{12}\text{Cr}_{39}$, PtMn 采用 $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$.

另外, 所谓 Al (0.4) -O/Al (0.3) -O 指的是把 Al 成膜 0.4nm
 以后, 以 100mTorr, 1 分钟的氧气氛中氧化以后, 进而把 Al 成膜 0.3nm
 15 成膜后, 以 100mTorr, 1 分钟的氧气氛中氧化形成的 Al_2O_3 (隧道绝
 缘层). 另外, Al (0.4) -O/Al (0.35) -O 也同样, 把各个膜厚的
 Al 成膜后以 100mTorr 氧化. 另外, 这些氧化条件在氧化时间是 1 分
 钟的情况下, 从 10mTorr 到 600mTorr 的压力之间没有发现很大的差
 别.

20 把这些多层膜在 5kOe 的磁场中以 280℃ 进行热处理, 使用 EB 和
 光刻法微细加工成台面型使得元件面积成为 $0.8 \times 1.2 \mu\text{m}^2$. 形成层间
 绝缘膜后, 形成上部电极, 制做垂直电流型磁阻元件.

沿着这些元件的长度方向加入磁场测定了 MR 的结果, 在所有的
 元件中在最佳磁场下, 如果以 1mV 左右的元件偏置进行测定, 则样品
 25 1 示出 40%, 样品 2 示出 43%, 样品 3, 样品 4 以及样品 5 分别示出
 39%, 40%, 42% 左右的 MR. 另外, 以 500mV 左右的元件偏置进行测定,
 则样品 1 为 23%, 样品 2 为 20%, 对于偏置的依赖性几乎减少一半.
 另一方面, 样品 3, 4 以及 5 是 35%, 36%, 35%. 各 RA 在样品 1 中是
 $30 \Omega \mu\text{m}^2$, 样品 2 是 $70 \Omega \mu\text{m}^2$, 样品 3, 4, 5 是 $60 \Omega \mu\text{m}^2$. 样品 3, 4
 30 以及 5 的 RA 与样品 1 相比较示出多一倍的值. 进而, 可以看到 500mV
 高偏置下的 MR 的显著改善. 这考虑为样品 3, 4 以及 5 是串联连接的
 2 个隧道绝缘层的关系. 进而, 对于样品 3, 4 以及样品 5 的对外部磁

场的非对称性调查的结果, 按照样品 5, 样品 4, 样品 3 的顺序对称性高低排列. 这是对于外部磁场进行响应的 Al_2O_3 附近的磁性体层在样品 3 中互相邻接, 而且在保持平行的状态下进行磁化旋转, 而与此不同, 在样品 4 中根据非磁性导电层, 对于外部磁场进行应答的磁性体层之间的距离拉开, 另外在样品 5 中经过非磁性体导电层相互邻接的磁化相互保持反平行的状态下进行旋转磁化, 因此能够减少静磁能量的原因. 另外, 在样品 4 或者样品 5 的结构中, 进行图 17 所示的 2 个电流一致方式的写入实验, 结果, 在同一写入电流下, 获得高 MR 的 Cu 的厚度是 2.6nm - 50nm. 另外除去 Cu 以外, 如果是作为 Al, TiN, TiWN, CuAl, CuAlTi, Ag, Au, Pt 等通常导电性电极材料而使用的非磁性体, 则能够得到同样的结果.

实施例 26

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件.

样品 1

15 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Cu (5) / CoFe (1) / NiFe (3) / Ru (0.9) / NiFe (3) / Ta (3)

样品 2

20 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Cu (10) / CoFe (1) / NiFe (3) / Ru (0.9) / NiFe (3) / Ta (3)

样品 3

25 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Cu (5) / CoFe (1) / NiFe (3) / Ru (0.9) / NiFe (6) / Ru (0.9) / NiFe (3) / CoFe (1) / Cu (5) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

样品 4

30 Ta (3) / Cu (500) / Ta (3) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Cu (5) / CoFe (1) / NiFe (3) / Ru (0.9) / NiFe (3) / Cu (5) / NiFe (3) / Ru (0.9) / NiFe (5) / CoFe (1) / Cu (5) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

样品 5

Ta (3) /Cu (500) /Ta (3) /NiFeCr (4) /PtMn (15) /CoFe (3)
 /Ru (0.9) /CoFe (3) /Cu (5) /CoFe (1) /NiFe (3) /Ru (0.9)
 /NiFe (3) /Cu (5) /NiFe (5) /Ru (0.9) / NiFe (3) /CoFe (1) /Cu
 5 (5) /CoFe (3) /Ru (0.9) /CoFe (3) /PtMn (15) /Ta (3)

这里, CoFe 使用了 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$, NiFe 使用了 $\text{Ni}_{60}\text{Fe}_{40}$. 另外, NiFeCr 使用了 $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{12}\text{Cr}_{39}$, PtMn 使用了 $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$.

把这些多层膜在 5kOe 的磁场中, 以 280℃ 进行热处理, 使用 EB 和光刻法微细加工成台面型使得元件面积成为 $0.5 \times 0.5 \mu\text{m}^2$. 形成
 10 层间绝缘膜后, 形成上部电极, 制做垂直电流型磁阻元件.

沿着这些元件的长度方向加入磁场测定了 MR 的结果, 所有的元件在最佳磁场中, 如果以 1mV 左右的元件偏置进行测定, 则样品 1 示出 28% 左右的 MR, 样品 2 示出 15% 左右的 MR, 样品 3, 样品 4 以及样品 5 分别示出 49%, 47%; 42% 左右的 MR. 调查样品 3, 4 以及 5
 15 对于外部磁场的非对称性的结果, 了解到按照样品 5, 样品 4, 样品 3 的顺序对称性高低排列.

实施例 27

使用磁控管溅射法在 Si 热氧化基板上制做了以下的元件.

Ta (3) /Cu (50) /Ta (3) /NiFeCr (4) /PtMn (15) /CoFe (3)
 20 /Ru (0.9) /CoFe (3) / Al_2O_3 (Y) /NiFe (5) /Ru (0.9) /NiFe (3)
 /Ru (0.9) /NiFe (5) / Al_2O_3 (Y) /CoFe (3) /Ru (0.9) /CoFe (3)
 /PtMn (20) /CoFe (3) /Ru (0.9) /CoFe (3) / Al_2O_3 (Y) /NiFe (5)
 /Ru (0.9) /NiFe (3) /Ru (0.9) /NiFe (5) / Al_2O_3 (Y) /CoFe (3)
 /Ru (0.9) /CoFe (3) /PtMn (15) /Ta (3)

25 这里, CoFe 使用了 $\text{Co}_{760}\text{Fe}_{24}$, NiFe 使用了 $\text{Ni}_{60}\text{Fe}_{40}$. 另外, NiFeCr 使用了 $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{12}\text{Cr}_{39}$, PtMn 使用了 $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$. 还有, Al_2O_3 的膜厚 Y 做成 RA 为 $1\text{k}\Omega \mu\text{m}$ 左右的膜厚.

把这些多层膜在 5kOe 的磁场中以 280℃ 进行热处理, 使用 EB 和光刻法微细加工成台面型使得元件面积成为 $0.5 \times 0.5 \mu\text{m}^2$. 形成层
 30 间绝缘膜后, 形成上部电极, 制做垂直电流型磁阻元件.

沿着这些元件的长度方向加入磁场测定了 MR 的结果, 所有的元件在最佳磁场中, 如果以 1mV 左右的元件偏置进行测定, 则样品 1 是

41%，500mV 下的测定是 40%，1V 下的测定是 37%，可知显著地改善了偏置依赖性。

实施例 28

样品 1

5 Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / NiFe (2) / Ta (3)

样品 2

Ta (3) / Cu (50) / Ta (3) / NiFe (2) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

10 样品 3

Ta (3) / Cu (50) / Ta (a) / NiFeCr (4) / PtMn (15) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / Al₂O₃ (Y) / NiFe (2) / NiFeCr (4) / Ta (3)

样品 4

15 Ta (3) / Cu (50) / Ta (a) / NiFeCr (4) / NiFe (2) / Al₂O₃ (Y) / CoFe (3) / Ru (0.9) / CoFe (3) / PtMn (15) / Ta (3)

这里，CoFe 使用了 Co₇₆₀Fe₂₄，NiFe 使用了 Ni₈₁Fe₁₉。另外，NiFeCr 使用了 (Ni₈₁Fe₁₉)_{100-x}Cr_x，PtMn 使用了 Pt₅₀Mn₅₀。另外，Al₂O₃ 的膜厚 Y 做成 RA 为 1kΩ μm 左右。

20 把这些多层膜在 5kOe 的磁场中以 280℃ 进行热处理，使用 EB 以及光刻法微细加工成台面型使得元件面积成为 0.3 × 0.9 μm²。形成层间绝缘膜后，形成上部电极，制做垂直电流型磁阻元件。

沿着这些元件的长度方向加入磁场测定了 MR 的结果，在样品 1 以及样品 2 中没有观测到电子管型的 MR，这考虑为基于薄膜化的 NiFe 层的磁化的缘故。另一方面，在样品 2 以及样品 3 中可以得到 30% 左右的 MR。其次，调查了在 (Ni₈₁Fe₁₉)_{100-x}Cr_x 下使 X 变化的结果，得到 25 电子管型 MR 的是 X 为 50 以下的时候。其中，在 X 为 10 以下时抗磁力的增大显著，这是由于随着 NiFeCr 的磁化增大反磁场增大的原因。该边界下的 NiFeCr 的饱和磁化是大约 0.2T。另外 X 是 25 时饱和磁化几乎为零。同样的效果除去 Cr 以外，在 Mo，W 中也能见到。另外， 30 本实施例中自由磁性层是单层，示出了成分是 Ni₈₁Fe₁₉ 的情况，然而在 Ni₆₀Fe₄₀ 中，具有从 (Ni₆₀Fe₄₀)_{100-x}(Cr, Mo, W)_x，或者在 Co₇₅Fe₂₅ 中从 (Co₇₅Fe₂₅)_{100-x}(Cr, Mo, W)_x 中选择出的成分的缓冲层，也可

以看到各个自由磁性层在薄膜化时(4-1nm左右)的MR特性的提高。

实施例 29

使用磁控管溅射法从Si热氧化基板上制做了以下的元件。

样品 1

5 Ta(3)/Cu(50)/Ta(3)/CoFe(1.25)/Ru(0.8)/CoFe(2.25)
/Al₂O₃(Y)/CoFe(3)/Ru(0.9)/CoFe(3)/PtMn(20)/Ta(3)

样品 2

Ta(3)/Cu(50)/Ta(3)/CoFe(1.5)/Ru(0.8)/CoFe(2.5)
/Al₂O₃(Y)/CoFe(3)/Ru(0.9)/CoFe(3)/PtMn(20)/Ta(3)

10 样品 3

Ta(3)/Cu(50)/Ta(3)/CoFe(2)/Ru(0.8)/CoFe(3)
/Al₂O₃(Y)/CoFe(3)/Ru(0.9)/CoFe(3)/PtMn(20)/Ta(3)

样品 4

15 Ta(3)/Cu(50)/Ta(3)/CoFe(2)/Ru(0.8)/CoFe(4)
/Ru(0.8)/CoFe(3)/Al₂O₃(Y)/CoFe(3)/Ru(0.9)/CoFe(3)
/PtMn(20)/Ta(3)

样品 5

20 Ta(3)/Cu(50)/Ta(3)/CoFe(3)/Ru(0.8)/CoFe(5)
/Ru(0.8)/CoFe(3)/Al₂O₃(Y)/CoFe(3)/Ru(0.9)/CoFe(3)
/PtMn(20)/Ta(3)

这里CoFe使用了Co₇₅Fe₂₅。

25 另外,Al₂O₃的膜厚Y做成RA成为100Ωμm左右的膜厚。把这些
多层膜在5kOe的磁场中以280℃进行热处理,使用EB和光刻法微细
加工成台面型使得元件面积成为0.1×0.2μm²。形成层间绝缘膜后,
形成上部电极,进而形成保护膜,制做垂直电流型磁阻元件。

30 所制做的元件数对于一个多层膜取为10个元件。沿着这些元件
的长度方向加入磁场测定了MR的结果,任一个元件的磁化反转磁场
(抗磁力)都几乎相同。把这些元件沿着MR成为最大的方向进行磁
化反转,在惰性气体中,使元件温度上升到200℃以及300℃,放置24
小时,调查了在各个温度下的存储稳定性。其结果,在200℃下在样品
1中,2成的元素失去了最初的存储性,而其它的样品保持最初的存储
性。其次,在350℃下,虽然在样品1中4成的元件,在样品2中1成

的元件失去了存储性，但是在其它的样品保持最初的存储性。

从以上可知，构成自由磁性层的磁性体层厚度的总计至少需要 4nm 以上。另外，在本实验中在磁性体层中使用了 CoFe，而在使用了 NiFe 的实验中至少需要 7nm 以上，进而在使用了 Fe_3O_4 时至少需要 10nm 以上。

所有的元件在最佳磁场中，如果以 1mV 左右的元件偏置进行测定，则样品 1 示出 40%，样品 2 示出 43%，样品 3，样品 4 以及样品 5 分别示出 39%，40%，42%左右的 MR。另外，如果以 500mV 左右的元件偏置进行测定，则样品 1 为 23%，样品 2 为 20%，根据偏置依赖性几乎减少到一半。另一方面，样品 3，4 以及 5 是 35%，36%，35%。各 RA 在样品 1 中是 $30\Omega \mu\text{m}^2$ ，样品 2 是 $70\Omega \mu\text{m}^2$ ，样品 3，4，5 是 $60\Omega \mu\text{m}^2$ 。样品 3，4 以及 5 的 RA 与样品 1 相比较示出多一倍的值。进而，在 500mV 的高偏置中的 MR 上可以见到显著的改善。这考虑为样品 3，4 以及 5 与 2 个隧道绝缘层串联连接的缘故。进而调查了样品 3，4 以及 5 对于外部磁场的非对称性的结果，按照样品 5，样品 4，样品 3 的顺序对称性高低排列。这考虑为对应外部磁场响应的 Al_2O_3 附近的磁性体层在样品 3 中相互邻接，而且在保持平行的状态下进行磁化旋转，与此不同，在样品 4 中通过非磁性导电层，对于外部磁场进行响应的磁性体层之间的距离拉开，另外在样品 5 中经过非磁性体层导电层相互邻接的磁化保持相互反平行的状态下能够进行的磁化反转，因此静磁能量减少。另外，在样品 4 或者样品 5 的结构中，进行了图 17 所示的基于 2 电流一致方式的写入实验，其结果，用同一写入电流获得高 MR 的是 Cu 的厚度为 50nm 以下的情况。

从以上可知，构成自由磁性层的磁性体层厚度总计至少需要 4nm 以上。另外，在本实验中在磁性体层中使用了 CoFe，而在使用了 NiFe 的实验中至少需要 7nm 以上，进而在使用了 Fe_3O_4 时至少需要 10nm 以上。

发明效果

根据本发明的垂直电流型磁阻元件，能够实现以往困难的低抗磁力，高 MR 和高耐热性。高 MR 具有提高磁传感器的灵敏度，低抗磁力具有降低 MRAM 等磁存储器的写入功耗，进而高耐热性具有提高控制做 MRAM 的 CMOS 或者布线的特性分散性的温度的效果。其结果，具有提高 HDD，光盘，DDS 的磁记录媒体的记录密度，降低误比特率的

效果，进而，在 MRAM 的高密度化和 MRAM 的低功耗化方面具有效果。另外，使用了本发明的垂直电流型磁阻元件的 MRAM 作为低功耗而且大容量存储器，具有能够搭载在便携设备等上的显著效果。

说明书附图

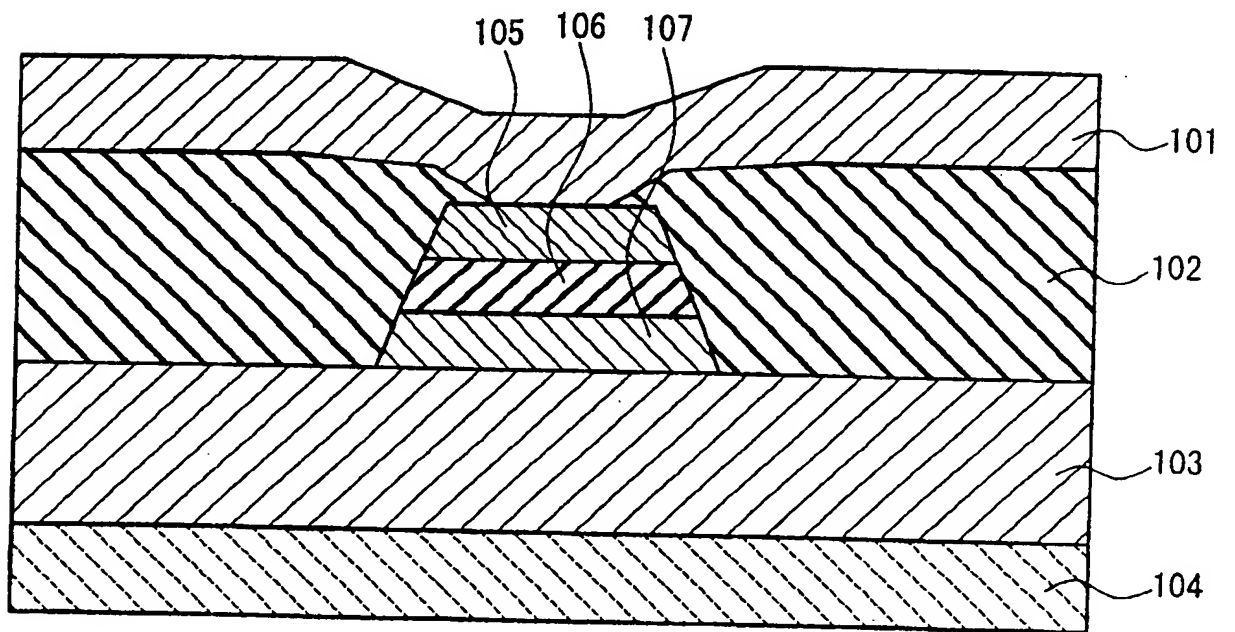


图 1

01.00.09

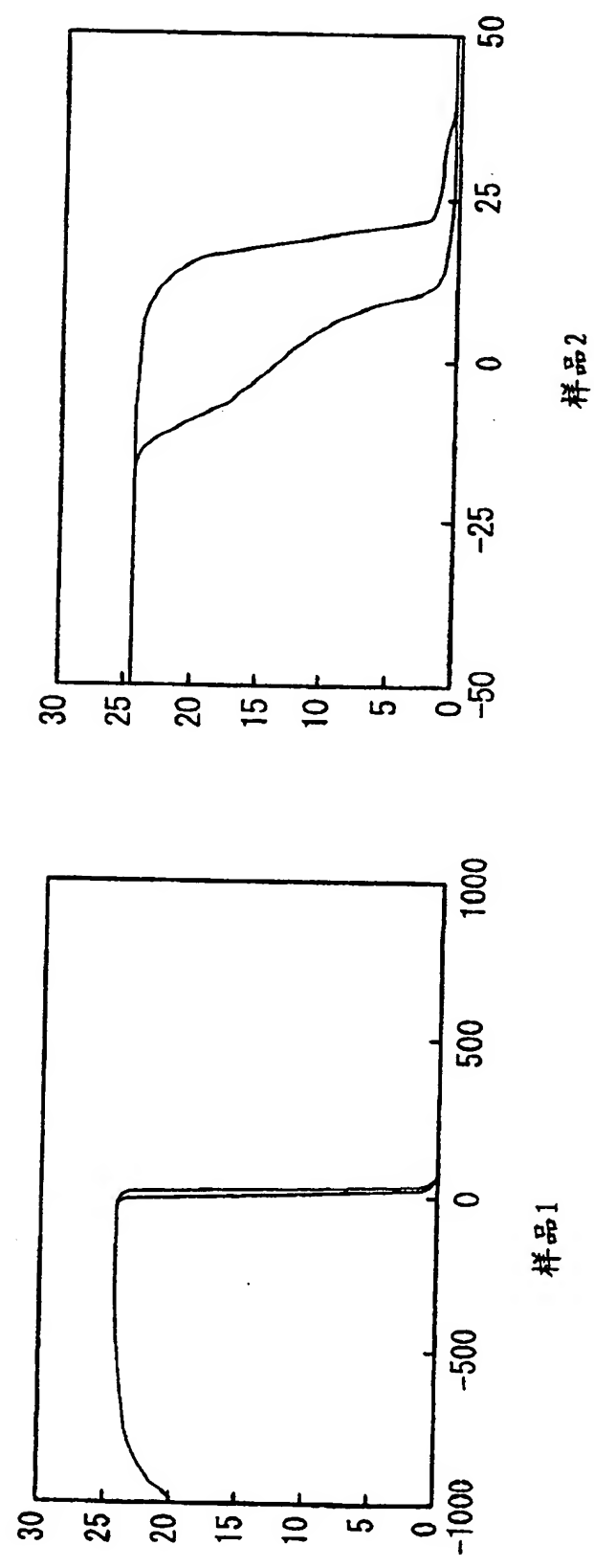


图 2A

图 2B

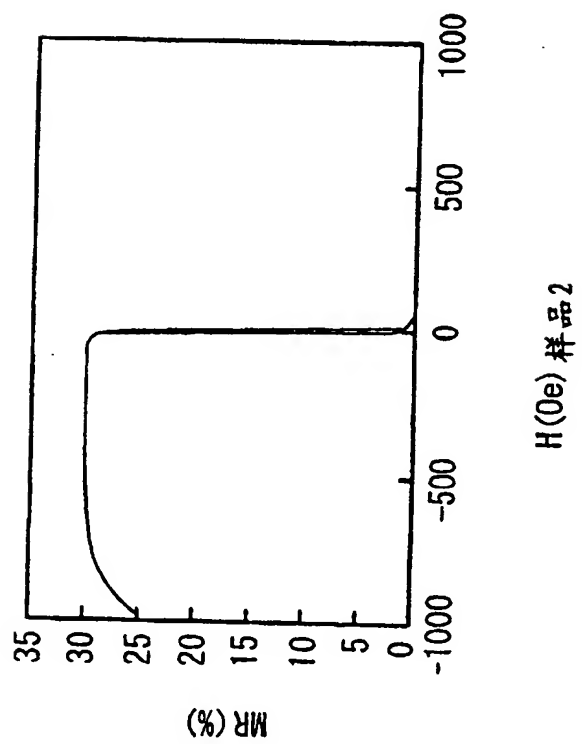


图 3A

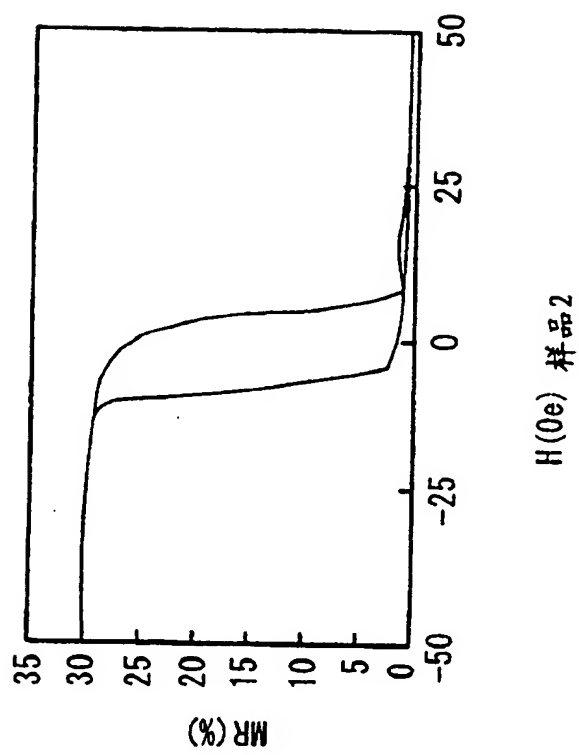


图 3B

010909

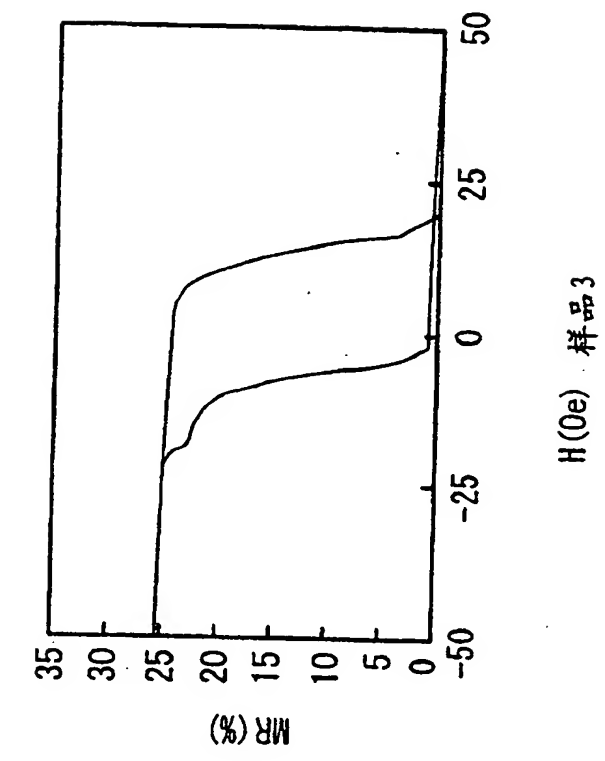


图 4B

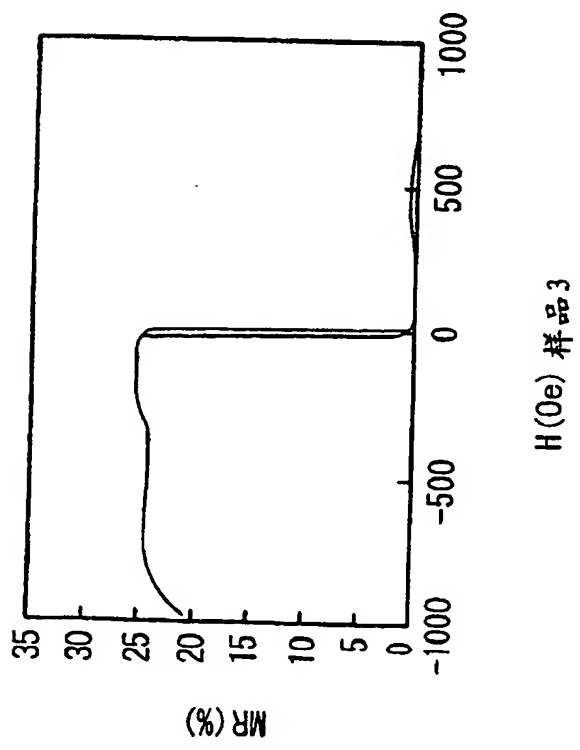


图 4A

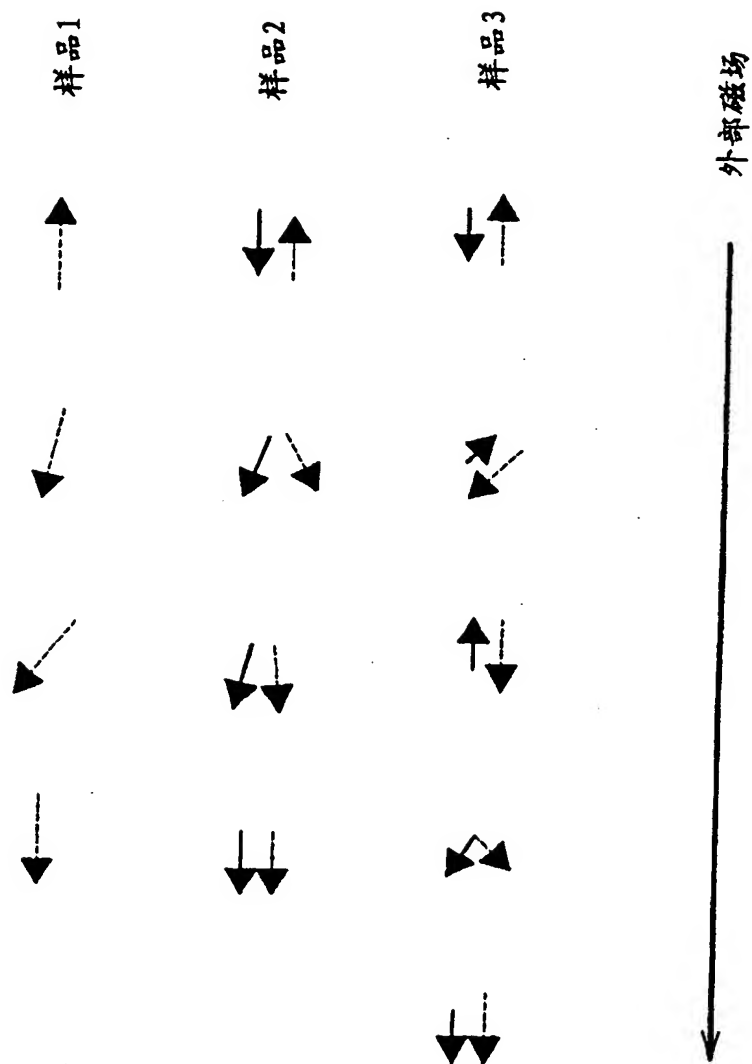


图 5

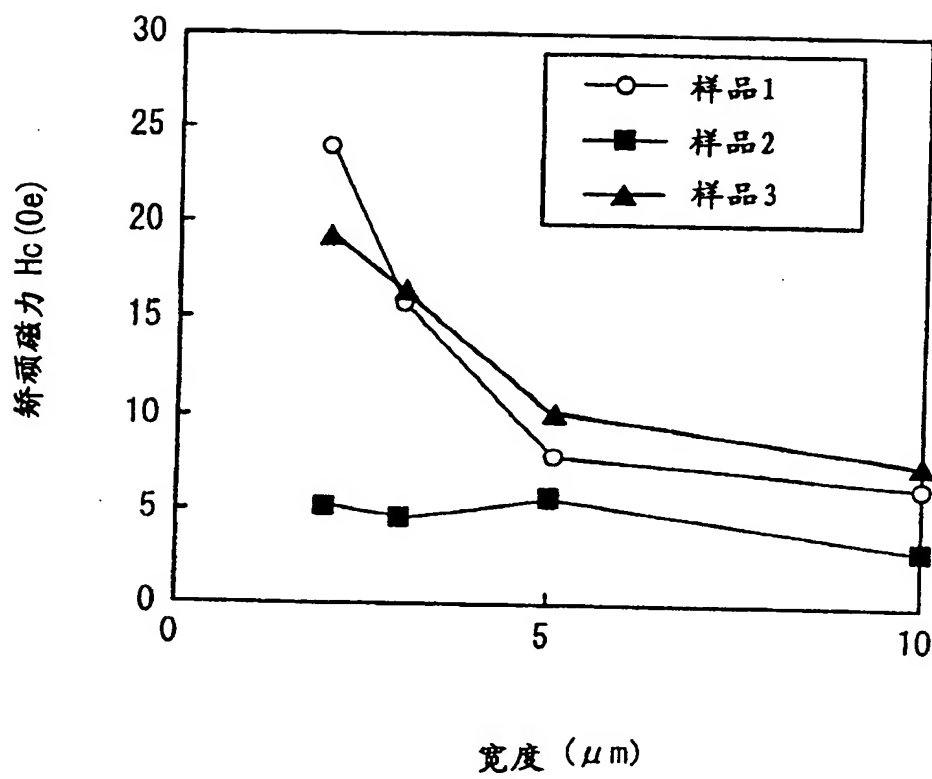


图 6

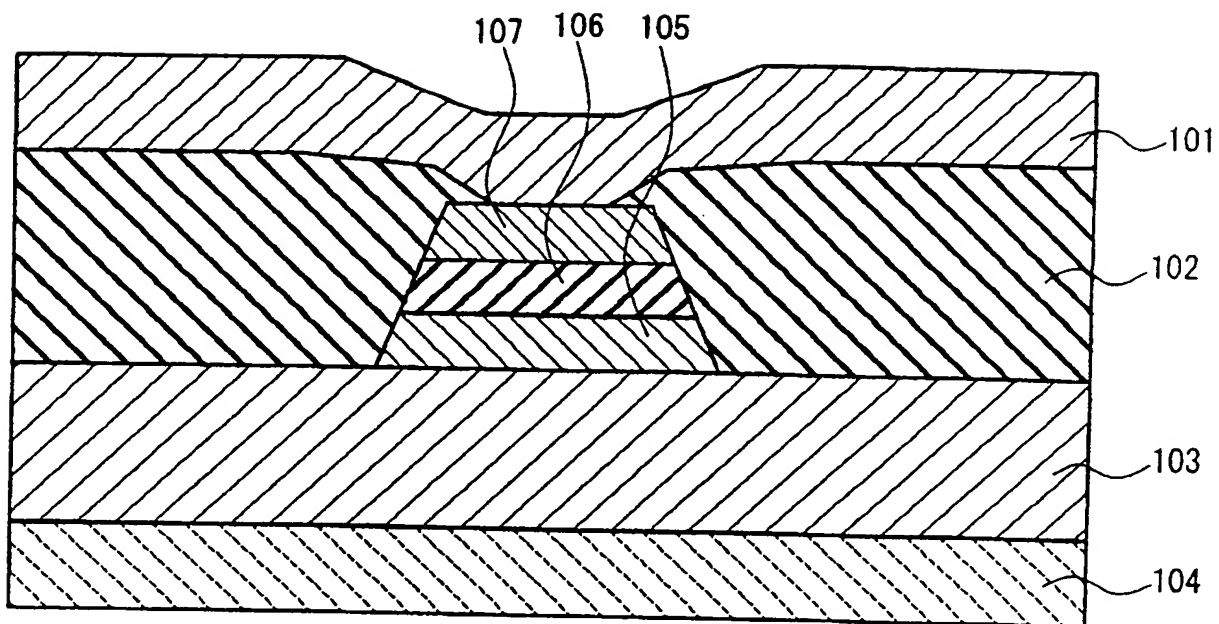


图 7

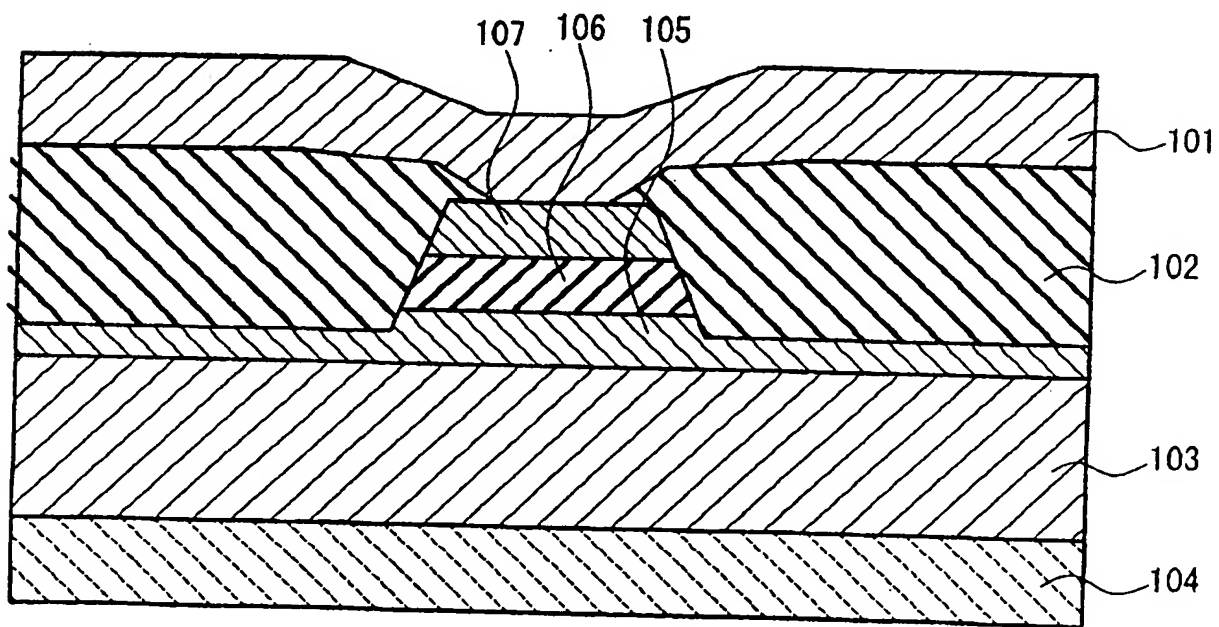


图 8

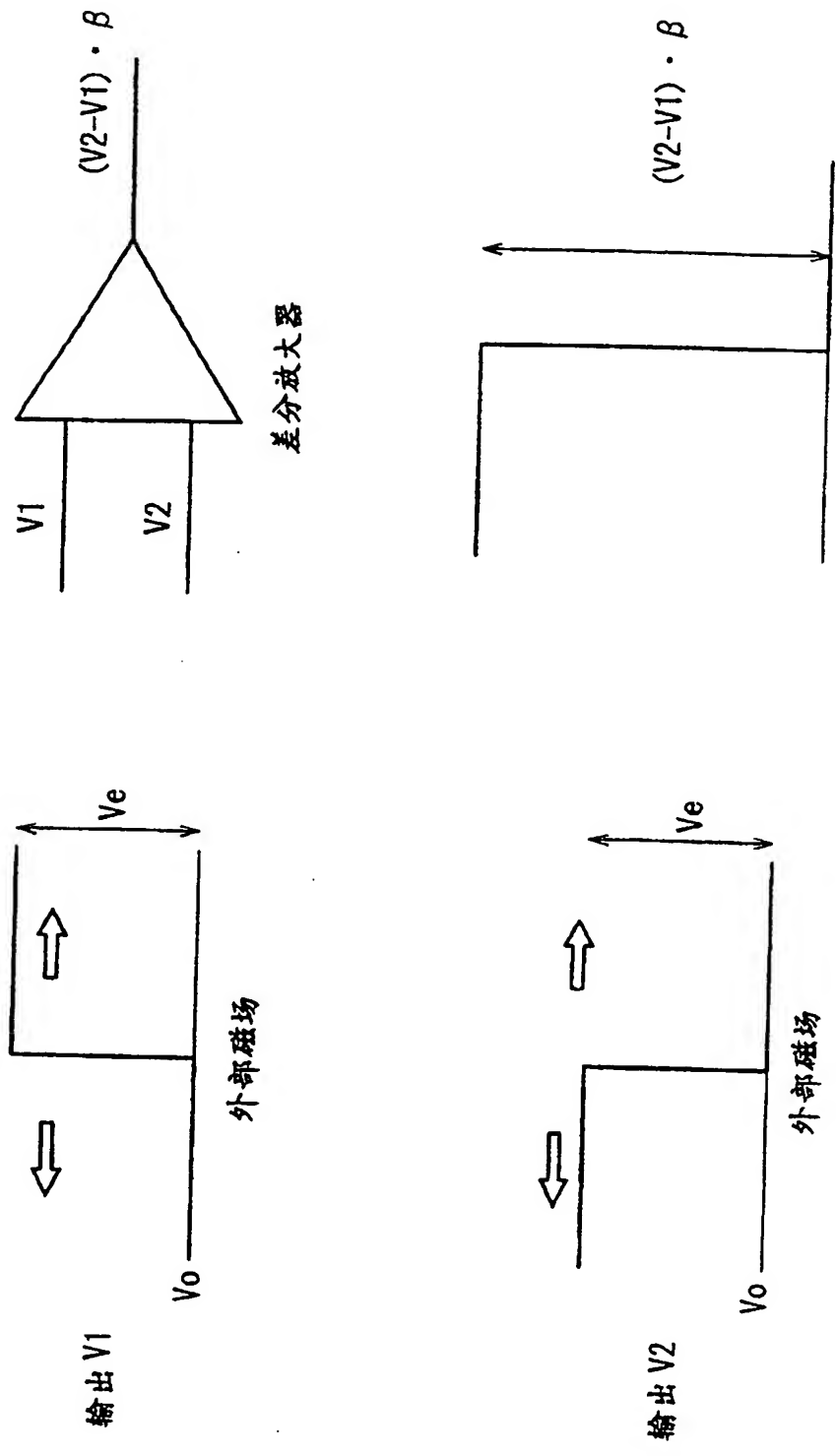


图 10

01.09.07

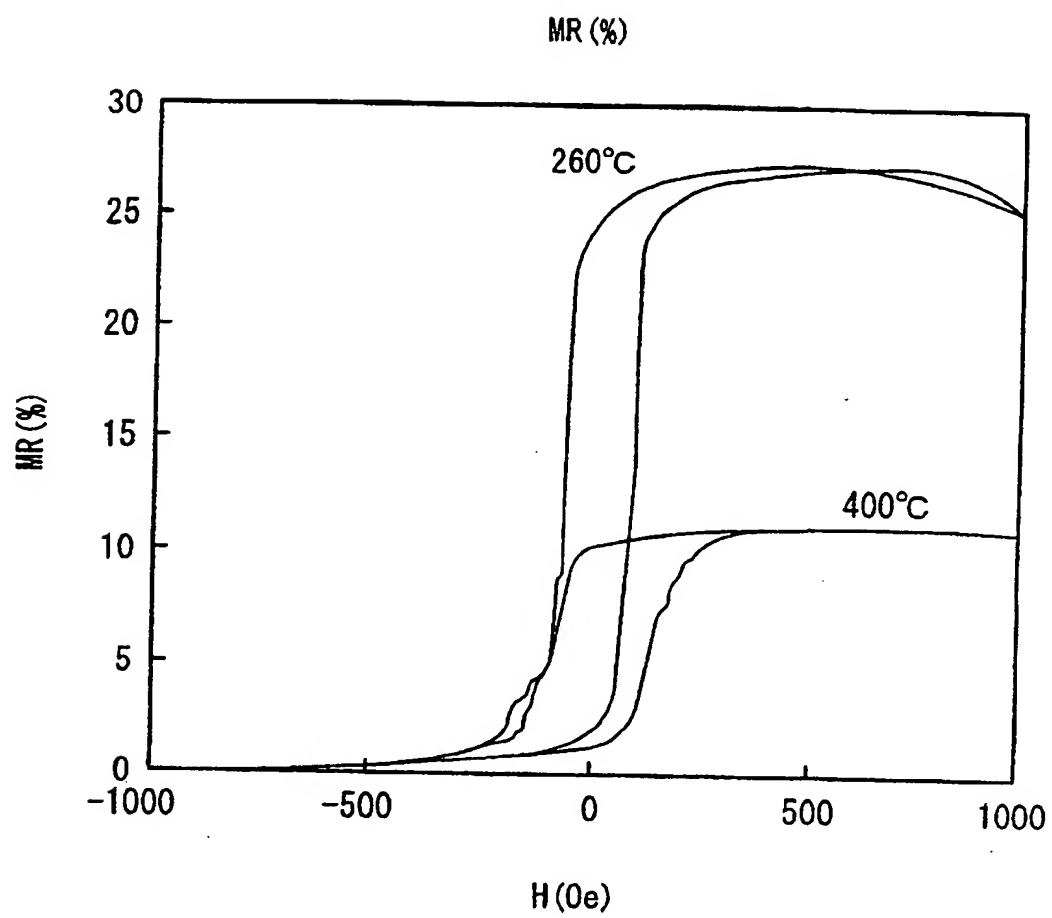


图 11

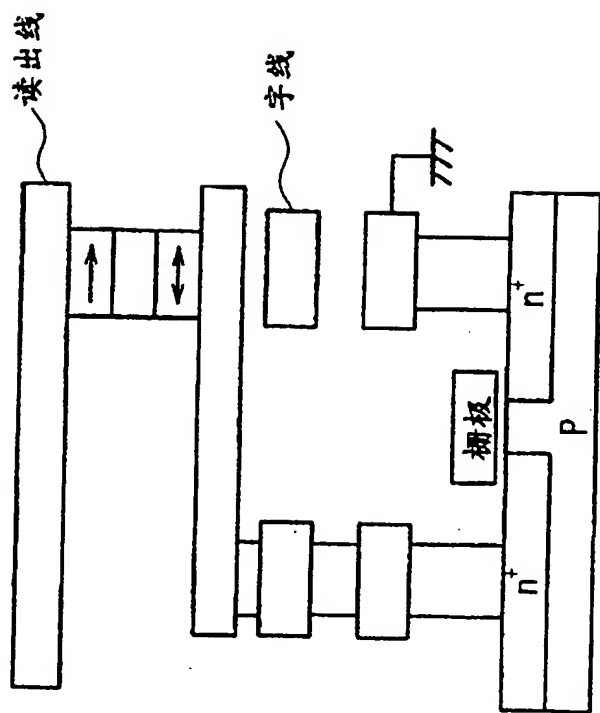


图 12A

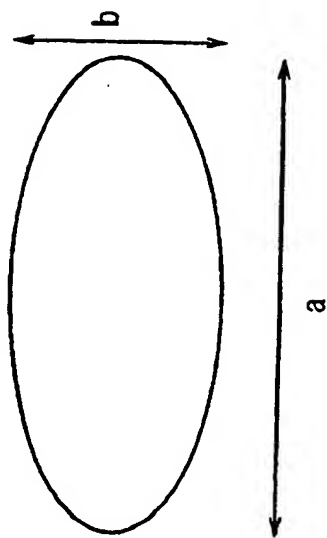


图 12B

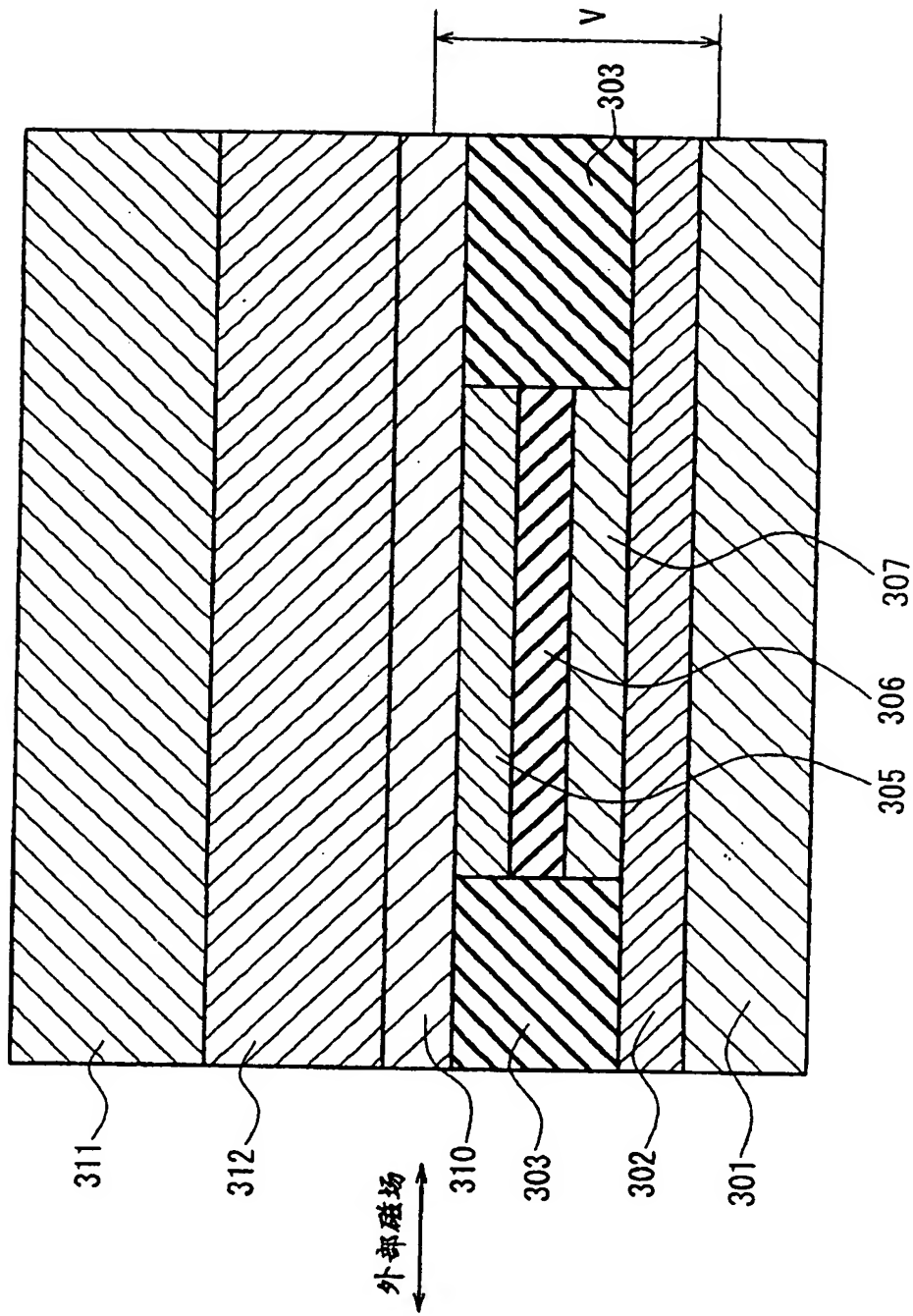


图 13

样品1

NiFe5/Ru0.7/NiFe3

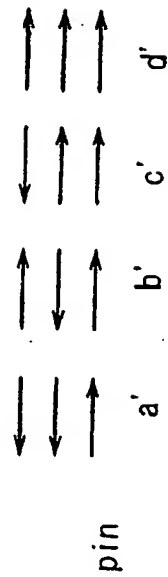
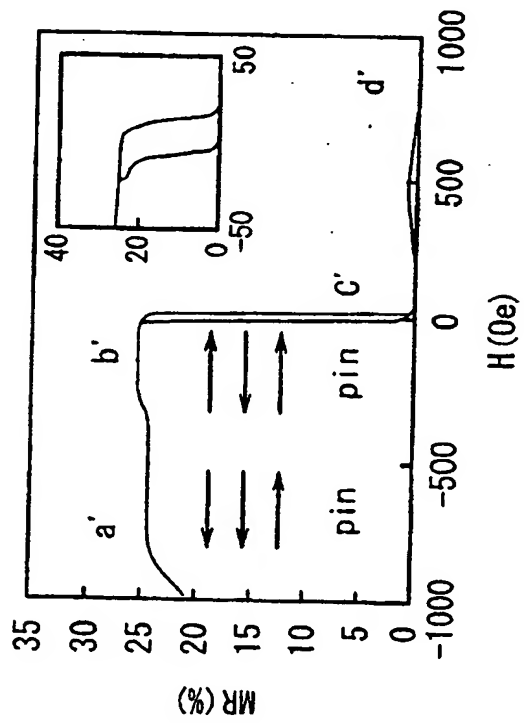


图 14A

样品2

NiFe3/Ru0.7/NiFe5

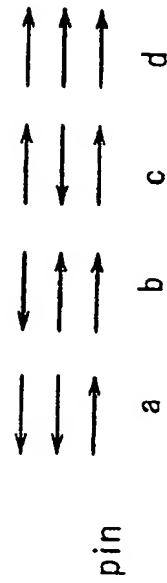
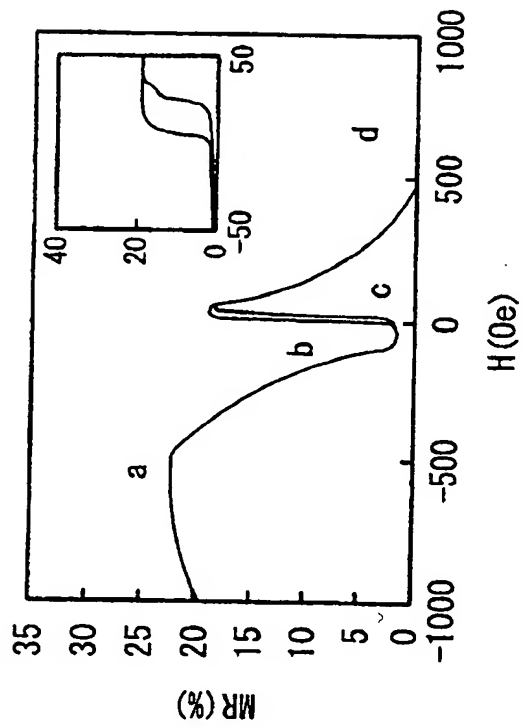


图 14B

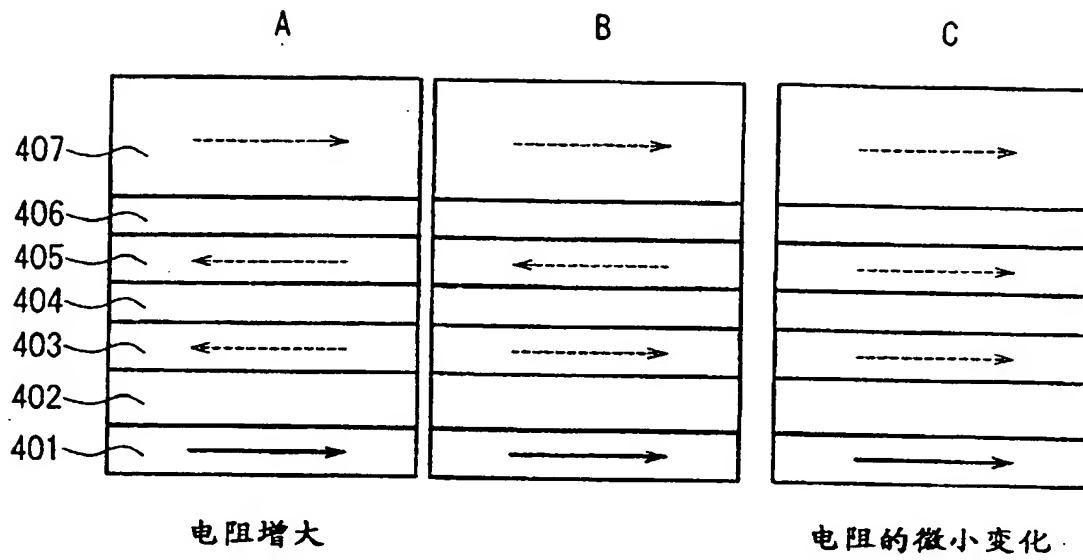


图 15

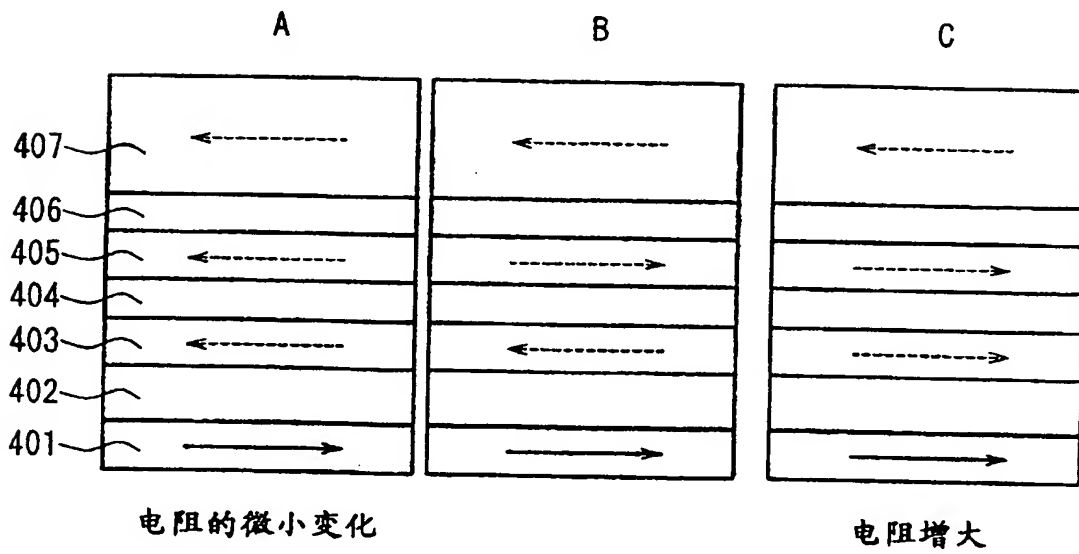


图 16

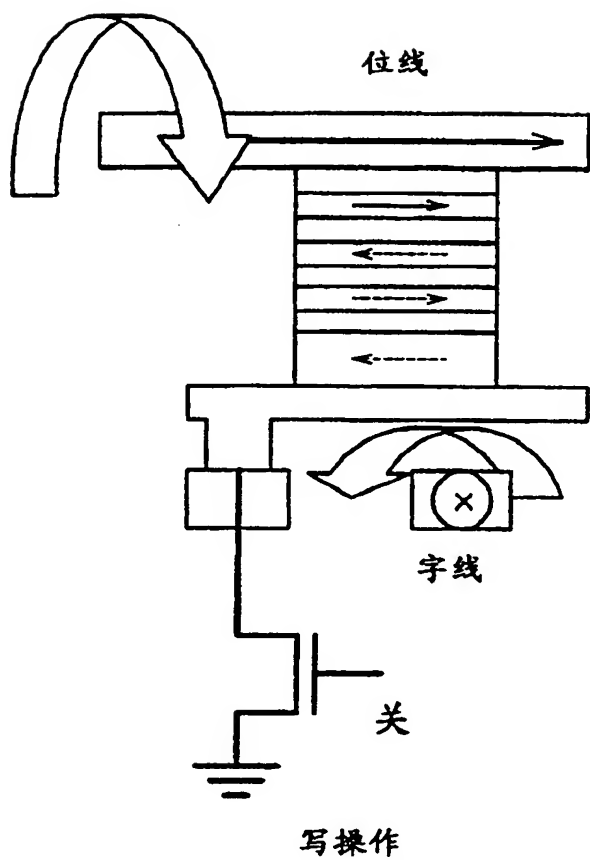


图 17A

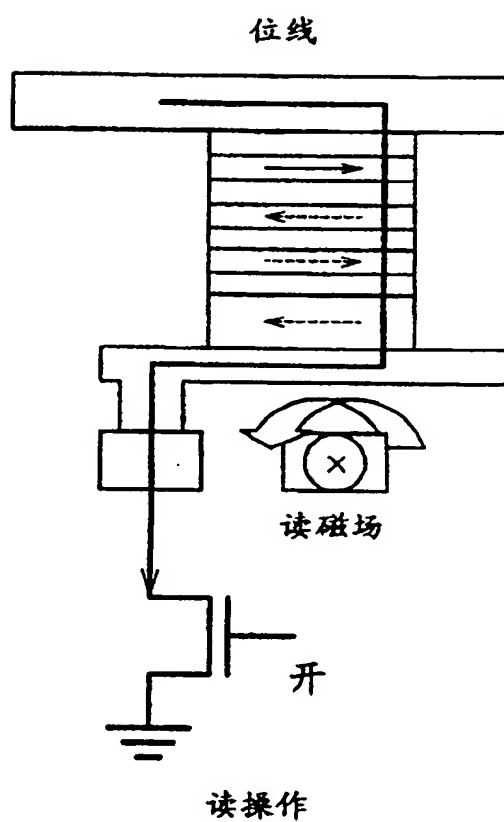


图 17B